



(10) **DE 10 2013 202 923 B4** 2021.09.16

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2013 202 923.3**
 (22) Anmeldetag: **22.02.2013**
 (43) Offenlegungstag: **29.08.2013**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **16.09.2021**

(51) Int Cl.: **C07F 15/00 (2006.01)**
C09K 11/06 (2006.01)
H01L 51/54 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:
2012-038535 **24.02.2012** **JP**

(73) Patentinhaber:
Semiconductor Energy Laboratory Co., Ltd.,
Atsugi-shi, Kanagawa-ken, JP

(74) Vertreter:
Grünecker Patent- und Rechtsanwälte PartG
mbB, 80802 München, DE

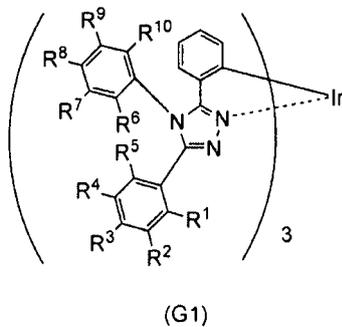
(72) Erfinder:
Inoue, Hideko, Atsugi-shi, Kanagawa-ken, JP;
Ishisone, Takahiro, Atsugi-shi, Kanagawa-ken,
JP; Ohsawa, Nobuharu, Atsugi-shi, Kanagawa-
ken, JP; Seo, Satoshi, Atsugi-shi, Kanagawa-ken,
JP; Hamada, Takao, Atsugi-shi, Kanagawa-ken,
JP

(56) Ermittelter Stand der Technik:

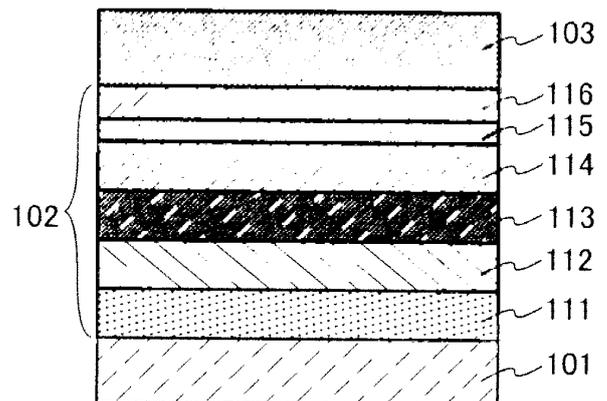
US	2007 / 0 085 073	A1
US	2011 / 0 198 988	A1
WO	2010/ 061 989	A1
JP	5 692 805	B2

(54) Bezeichnung: **Phosphoreszierender organometallischer Iridiumkomplex, lichtemittierendes Element, lichtemittierende Vorrichtung, elektronische Vorrichtung und Beleuchtungsvorrichtung**

(57) Hauptanspruch: Komplex, umfassend eine Struktur, die durch die Formel (G1) dargestellt wird:



worin R¹ eine Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen darstellt; und
 wobei R² bis R¹⁰ unabhängig voneinander Wasserstoff oder eine Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen darstellen.



Beschreibung

Hintergrund der Erfindung

Gebiet der Erfindung

[0001] Eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung betrifft einen phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplex, der die Energie eines angeregten Triplettzustands in Lumineszenz umwandeln kann. Eine weitere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung betrifft ein lichtemittierendes Element, eine lichtemittierende Vorrichtung, eine elektronische Vorrichtung und eine Beleuchtungsvorrichtung, die jeweils den phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplex verwenden.

Beschreibung des Standes der Technik

[0002] Ein lichtemittierendes Element mit einer Struktur, in der eine lichtemittierende Schicht mit einer organischen Verbindung, die eine lichtemittierende Substanz ist, zwischen einem Paar von Elektroden angeordnet ist, ist als Element für einen Flachbildschirm der nächsten Generation, der beispielsweise dünn ist und ein geringes Gewicht hat, eine schnelle Ansprechzeit hat und mit einer niedrigen Gleichstrom-Spannung betrieben wird, interessant. Eine Anzeigevorrichtung, die dieses lichtemittierende Element enthält, hat einen hervorragenden Kontrast und eine hervorragende Bildqualität sowie einen weiten Betrachtungswinkel.

[0003] Einige organische Verbindungen, die für eine lichtemittierende Schicht verwendet werden können, können aus einem angeregten Zustand heraus Phosphoreszenz emittieren. Phosphoreszenz bedeutet eine Lumineszenz, die bei einem Übergang zwischen verschiedenen Multiplizitätsenergiezuständen erzeugt wird. Bei einer gewöhnlichen organischen Verbindung bedeutet Phosphoreszenz eine Lumineszenz, die beim Rückgang von einem angeregten Triplettzustand in den Singulettgrundzustand erzeugt wird (im Gegensatz dazu bedeutet Fluoreszenz eine Lumineszenz, die beim Rückgang von einem angeregten Singulettzustand in den Singulettgrundzustand erzeugt wird). Wenn solch eine Verbindung, die Phosphoreszenz emittieren kann, d.h. die die Energie eines angeregten Triplettzustands in Lumineszenz umwandeln kann (im Folgenden als „phosphoreszierende Verbindung“ bezeichnet), als lichtemittierende Substanz in einer lichtemittierenden Schicht verwendet wird, dann kann die interne Quanteneffizienz verbessert werden, so dass ein sehr effizientes lichtemittierendes Element erhalten wird.

[0004] Ein organometallischer Komplex, in dem Iridium oder dergleichen ein Zentralmetall ist, ist als phosphoreszierende Verbindung interessant, und es wurde eine Vielzahl von neuen organometallischen Komplexen hergestellt (siehe beispielsweise Patentdokument 1), aber eine Koordinationsposition eines Liganden bezüglich eines Zentralmetalls muss gesteuert werden, damit ein organometallischer Komplex mit einer gewünschten Struktur effizient synthetisiert werden kann. Weitere beispielhafte organometallische Komplexe sind in den Patentdokumenten 2 bis 5 offenbart.

[Referenz]

[Patentdokumente]

[Patentdokument 1] JP 2007-137872 A

[Patentdokument 2] US 2011 / 0 198 988 A1

[Patentdokument 3] JP 5 692 805 B2

[Patentdokument 4] WO 2010/ 061 989 A1

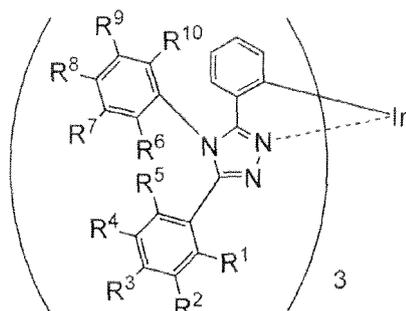
[Patentdokument 5] US 2007 / 0 085 073 A1

Zusammenfassung der Erfindung

[0005] In Hinblick auf die vorangegangene Beschreibung stellt eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung einen neuen phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplex bereit, in dem eine Koordinationsposition eines Liganden bezüglich des Metalls Iridium bei der Synthese gesteuert werden kann. Es wird ein neuer organometallischer Komplex bereit gestellt, der eine hohe Quanteneffizienz beibehalten kann und der Phosphoreszenz im blauen bis grünen Wellenlängenbereich emittieren kann. Entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann weiterhin ein sehr zuverlässiges lichtemittierendes Element bereit

gestellt werden, wenn solch ein phosphoreszierender organometallischer Iridiumkomplex verwendet wird. Entsprechend einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann ein lichtemittierendes Element, eine lichtemittierende Vorrichtung, eine elektronische Vorrichtung oder eine Beleuchtungsvorrichtung mit einer hohen Emissionseffizienz bereit gestellt werden, wenn solch ein phosphoreszierender organometallischer Iridiumkomplex verwendet wird.

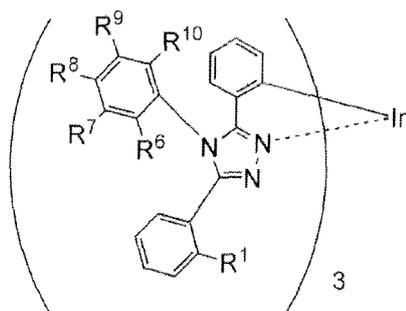
[0006] Eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist ein phosphoreszierender organometallischer Iridiumkomplex, dessen Ligand eine 4H-1,2,4-Triazolverbindung ist, die eine unsubstituierte Phenylgruppe in der 3-Position, eine substituierte oder unsubstituierte Phenylgruppe in der 4-Position und eine Phenylgruppe in der 5-Position hat. In der Phenylgruppe in der 5-Position ist eine Alkylgruppe in mindestens einer der ortho-Positionen gebunden, und die andere der ortho-Positionen, die meta-Positionen und die para-Positionen sind substituiert oder unsubstituiert. Eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist deshalb ein phosphoreszierender organometallischer Iridiumkomplex mit einer Struktur, die durch die allgemeine Formel (G1) dargestellt wird.



(G1)

[0007] In der Formel ist R^1 eine Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen. R^2 bis R^{10} bedeuten unabhängig voneinander Wasserstoff oder eine Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen.

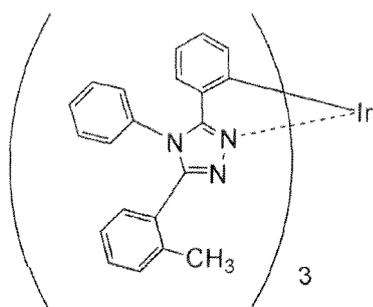
[0008] Eine andere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist ein phosphoreszierender organometallischer Iridiumkomplex, der durch die allgemeine Formel (G2) dargestellt wird.



(G2)

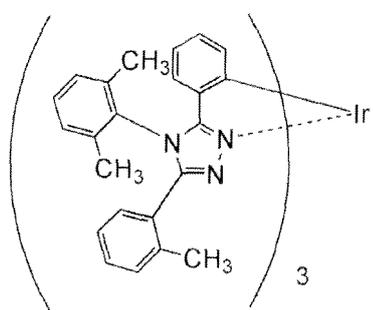
[0009] In der Formel ist R^1 eine Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen. R^6 bis R^{10} bedeuten unabhängig voneinander Wasserstoff oder eine Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen.

[0010] Eine andere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist ein phosphoreszierender organometallischer Iridiumkomplex, der durch die Strukturformel (100) dargestellt wird.



(100)

[0011] Eine andere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist ein phosphoreszierender organometallischer Iridiumkomplex, der durch die Strukturformel (101) dargestellt wird.



(101)

[0012] In jedem der zuvor beschriebenen phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplexe, die Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung sind, unterscheiden sich die Phenylgruppen, die an die 3-Position und an die 5-Position des Triazolgrundgerüsts gebunden sind, hinsichtlich ihrer Struktur, bedingt durch einen Substituenten oder mehrere Substituenten, der bzw. die den Wasserstoff der Phenylgruppen ersetzt bzw. ersetzen (genauer gesagt, die Phenylgruppe in der 3-Position ist unsubstituiert, während die Phenylgruppe in der 5-Position in mindestens einer der ortho-Positionen einen Substituenten hat (R^1 in den allgemeinen Formeln (G1) und (G2))). Da die Phenylgruppe in der 5-Position einen Substituenten hat und sterisch hindernd wirkt, kann die Phenylgruppe in der 3-Position, die weniger sterisch hindernd wirkt, selektiv an Iridium als Zentralmetall gebunden werden, so dass eine ortho-metallierte Struktur gebildet wird. Da die Phenylgruppe in der 5-Position einen Substituenten hat, so dass die Struktur nicht länger planar ist, kann die Wellenlänge des Lichts, das emittiert wird, in den Bereich kürzerer Wellenlängen verschoben werden. Da die Phenylgruppe in der 5-Position einen Substituenten hat, hat der Ligand eine höhere thermische Beständigkeit, verglichen mit einem Liganden mit einem Substituenten wie beispielsweise einer Alkylgruppe oder einer Alkoxygruppe. Folglich ist die thermische Beständigkeit des Komplexes verbessert, so dass die Lebensdauer eines lichtemittierenden Elements verlängert wird.

[0013] Wenn die Phenylgruppe, die an die 4-Position des Triazolgrundgerüsts gebunden ist, einen Substituenten in der ortho-Position in dem phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplex hat, was eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, dann ist die Struktur nicht länger planar, so dass die Wellenlänge des Lichts, das emittiert wird, in den Bereich kürzerer Wellenlängen verschoben werden kann. Wenn die Phenylgruppe, die an die 4-Position des Triazolgrundgerüsts gebunden ist, einen Substituenten in der ortho-Position hat, wird die Sublimationstemperatur verringert, so dass eine Zersetzung des Komplexes beim Vakuumaufdampfen verhindert werden kann, was zu einer verbesserten Beständigkeit führt. Folglich kann ein lichtemittierendes Element mit einer langen Lebensdauer, mit hervorragenden Eigenschaften und mit einer hohen Farbreinheit erhalten werden.

[0014] Durch das Einbringen des phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplexes, der eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, kann ein sehr effizientes lichtemittierendes Element bereit gestellt werden. Eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst deshalb ein lichtemittierendes Element,

das den phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplex entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung enthält.

[0015] Die vorliegende Erfindung betrifft weiterhin elektronische Vorrichtungen und Beleuchtungsvorrichtungen, umfassend lichtemittierende Vorrichtungen, sowie lichtemittierende Vorrichtungen, die lichtemittierende Elemente enthalten. Der Ausdruck „lichtemittierende Vorrichtung“ in dieser Beschreibung bezieht sich auf eine Bildanzeigevorrichtung, eine lichtemittierende Vorrichtung und eine Lichtquelle (d.h. eine Beleuchtungsvorrichtung). Die lichtemittierenden Vorrichtungen umfassen ein Modul, in dem eine lichtemittierende Vorrichtung mit einem Verbindungselement, wie beispielsweise einer FPC (flexiblen gedruckten Schaltung) oder einem TCP (tape carrier package), verbunden ist; ein Modul, in dem eine gedruckte Schaltung an der Spitze eines TCP angeordnet ist; und ein Modul, in dem eine IC (integrierte Schaltung) mit einem COG (chip on glass) Verfahren direkt auf einem lichtemittierenden Element montiert ist.

[0016] Entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann ein neuer phosphoreszierender organometallischer Iridiumkomplex bereit gestellt werden, in dem eine Koordinationsposition eines Liganden bezüglich des Metalls Iridium bei der Synthese gesteuert wird. Entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann ein phosphoreszierender organometallischer Iridiumkomplex erhalten werden, der eine hohe Quanteneffizienz beibehalten kann und der Phosphoreszenz im blauen bis grünen Wellenlängenbereich emittieren kann. Entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann weiterhin ein sehr zuverlässiges lichtemittierendes Element bereit gestellt werden, das solch einen phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplex enthält. Entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann weiterhin ein lichtemittierendes Element, eine lichtemittierende Vorrichtung, eine elektronische Vorrichtung oder eine Beleuchtungsvorrichtung mit einer hohen Emissionseffizienz bereit gestellt werden, das bzw. die solch einen phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplex enthält.

Figurenliste

Die **Fig. 1** zeigt eine Struktur eines lichtemittierenden Elements.

Die **Fig. 2** zeigt eine Struktur eines lichtemittierenden Elements.

Die **Fig. 3A** und **Fig. 3B** zeigen Strukturen von lichtemittierenden Elementen.

Die **Fig. 4** zeigt eine lichtemittierende Vorrichtung.

Die **Fig. 5A** und **Fig. 5B** zeigen eine lichtemittierende Vorrichtung.

Die **Fig. 6A** bis **Fig. 6D** zeigen elektronische Vorrichtungen.

Die **Fig. 7A** bis **Fig. 7C** zeigen eine elektronische Vorrichtung.

Die **Fig. 8** zeigt Beleuchtungsvorrichtungen.

Die **Fig. 9** zeigt ein $^1\text{H-NMR}$ Spektrum eines phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplexes, dargestellt durch die Strukturformel (100).

Die **Fig. 10** zeigt ein UV-VIS Absorptionsspektrum und ein Emissionsspektrum eines phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplexes, dargestellt durch die Strukturformel (100).

Die **Fig. 11** zeigt ein $^1\text{H-NMR}$ Spektrum eines phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplexes, dargestellt durch die Strukturformel (101).

Die **Fig. 12** zeigt ein UV-VIS Absorptionsspektrum und ein Emissionsspektrum eines phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplexes, dargestellt durch die Strukturformel (101).

Die **Fig. 13** zeigt ein lichtemittierendes Element.

Die **Fig. 14** zeigt die Beziehung Stromdichte-Leuchtdichte des lichtemittierenden Elements 1.

Die **Fig. 15** zeigt die Beziehung Spannung-Leuchtdichte des lichtemittierenden Elements 1.

Die **Fig. 16** zeigt die Beziehung Leuchtdichte-Stromausbeute des lichtemittierenden Elements 1.

Die **Fig. 17** zeigt die Beziehung Spannung-Strom des lichtemittierenden Elements 1.

Die **Fig. 18** zeigt die Beziehung Leuchtdichte-Farbkoordinaten des lichtemittierenden Elements 1.

Die **Fig. 19** zeigt ein Emissionsspektrum des lichtemittierenden Elements 1.

Die **Fig. 20** zeigt die Zuverlässigkeit des lichtemittierenden Elements 1.

- Die **Fig. 21** zeigt die Beziehung Stromdichte-Leuchtdichte des lichtemittierenden Elements 2.
- Die **Fig. 22** zeigt die Beziehung Spannung-Leuchtdichte des lichtemittierenden Elements 2.
- Die **Fig. 23** zeigt die Beziehung Leuchtdichte-Stromausbeute des lichtemittierenden Elements 2.
- Die **Fig. 24** zeigt die Beziehung Spannung-Strom des lichtemittierenden Elements 2.
- Die **Fig. 25** zeigt die Beziehung Leuchtdichte-Farbkoordinaten des lichtemittierenden Elements 2.
- Die **Fig. 26** zeigt ein Emissionsspektrum des lichtemittierenden Elements 2.
- Die **Fig. 27** zeigt die Zuverlässigkeit des lichtemittierenden Elements 2.
- Die **Fig. 28** zeigt die Beziehung Stromdichte-Leuchtdichte des lichtemittierenden Elements 3.
- Die **Fig. 29** zeigt die Beziehung Spannung-Leuchtdichte des lichtemittierenden Elements 3.
- Die **Fig. 30** zeigt die Beziehung Leuchtdichte-Stromausbeute des lichtemittierenden Elements 3.
- Die **Fig. 31** zeigt die Beziehung Spannung-Strom des lichtemittierenden Elements 3.
- Die **Fig. 32** zeigt die Beziehung Leuchtdichte-Farbkoordinaten des lichtemittierenden Elements 3.
- Die **Fig. 33** zeigt ein Emissionsspektrum des lichtemittierenden Elements 3.
- Die **Fig. 34** zeigt die Zuverlässigkeit des lichtemittierenden Elements 3.
- Die **Fig. 35** zeigt die LC/MS Messergebnisse für einen phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplex, dargestellt durch die Strukturformel (100).
- Die **Fig. 36** zeigt die LC/MS Messergebnisse für einen phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplex, dargestellt durch die Strukturformel (101).
- Die **Fig. 37** zeigt ein $^1\text{H-NMR}$ Spektrum eines phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplexes, dargestellt durch die Strukturformel (105).
- Die **Fig. 38** zeigt ein UV-VIS Absorptionsspektrum und ein Emissionsspektrum eines phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplexes, dargestellt durch die Strukturformel (105).
- Die **Fig. 39** zeigt die LC/MS Messergebnisse für einen phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplex, dargestellt durch die Strukturformel (105).
- Die **Fig. 40** zeigt ein $^1\text{H-NMR}$ Spektrum eines phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplexes, dargestellt durch die Strukturformel (112).
- Die **Fig. 41** zeigt ein UV-VIS Absorptionsspektrum und ein Emissionsspektrum eines phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplexes, dargestellt durch die Strukturformel (112).
- Die **Fig. 42** zeigt die LC/MS Messergebnisse für einen phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplex, dargestellt durch die Strukturformel (112).
- Die **Fig. 43** zeigt ein $^1\text{H-NMR}$ Spektrum eines phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplexes, dargestellt durch die Strukturformel (121).
- Die **Fig. 44** zeigt ein UV-VIS Absorptionsspektrum und ein Emissionsspektrum eines phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplexes, dargestellt durch die Strukturformel (121).
- Die **Fig. 45** zeigt die LC/MS Messergebnisse für einen phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplex, dargestellt durch die Strukturformel (121).
- Die **Fig. 46** zeigt die Beziehung Stromdichte-Leuchtdichte der lichtemittierenden Elemente 4 bis 6 und eines lichtemittierenden Vergleichselements.
- Die **Fig. 47** zeigt die Beziehung Spannung-Leuchtdichte der lichtemittierenden Elemente 4 bis 6 und eines lichtemittierenden Vergleichselements.
- Die **Fig. 48** zeigt die Beziehung Leuchtdichte-Stromausbeute der lichtemittierenden Elemente 4 bis 6 und eines lichtemittierenden Vergleichselements.
- Die **Fig. 49** zeigt die Beziehung Spannung-Strom der lichtemittierenden Elemente 4 bis 6 und eines lichtemittierenden Vergleichselements.

Die **Fig. 50** zeigt die Beziehung Leuchtdichte-Farbkoordinaten der lichtemittierenden Elemente 4 bis 6 und eines lichtemittierenden Vergleichselements.

Die **Fig. 51** zeigt die Emissionsspektren der lichtemittierenden Elemente 4 bis 6 und eines lichtemittierenden Vergleichselements.

Genauere Beschreibung der Erfindung

[0017] Im Folgenden werden Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung mit Bezug auf die beiliegenden Zeichnungen genau beschrieben. Die vorliegende Erfindung ist jedoch nicht auf die folgende Beschreibung beschränkt; die Arbeitsweise und die Details der vorliegenden Erfindung können auf vielfältige Art und Weise modifiziert werden, und alle diese Modifikationen sind erfindungsgemäß. Die vorliegende Erfindung ist deshalb nicht auf die Beschreibung der folgenden Ausführungsformen beschränkt.

(Ausführungsform 1)

[0018] In dieser Ausführungsform werden die phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplexe beschrieben, die Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung sind.

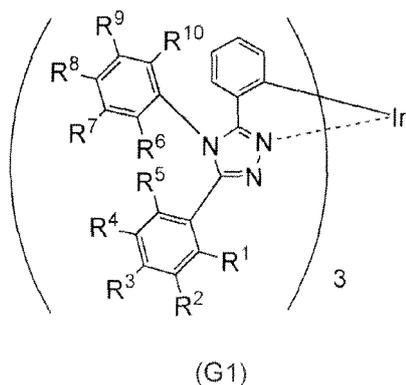
[0019] Ein phosphoreszierender organometallischer Iridiumkomplex, der eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, ist ein phosphoreszierender organometallischer Iridiumkomplex, dessen Ligand eine 4H-1,2,4-Triazolverbindung ist, die eine unsubstituierte Phenylgruppe in der 3-Position, eine substituierte oder unsubstituierte Phenylgruppe in der 4-Position und eine Phenylgruppe in der 5-Position hat. In der Phenylgruppe in der 5-Position ist eine Alkylgruppe in mindestens einer der ortho-Positionen gebunden, und die andere der ortho-Positionen, die meta-Positionen und die para-Positionen sind substituiert oder unsubstituiert.

[0020] Gewöhnlich war es schwierig vorherzusagen, ob eine Phenylgruppe an der 3-Position eines Triazolgrundgerüsts oder eine Phenylgruppe an der 5-Position davon eine Koordinationsbindung mit Iridium bildet, so dass die Phenylgruppen in der 3-Position und in der 5-Position des Triazolgrundgerüsts die gleiche Struktur haben mussten. In dem phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplex, der eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, ist jedoch eine Alkylgruppe an einer der ortho-Positionen (R^1 in der allgemeinen Formel (G1)) der Phenylgruppe in der 5-Position des Triazolgrundgerüsts gebunden, so dass keine ortho-Metallierung an der anderen der ortho-Positionen (R^5 in der allgemeinen Formel (G1)) erfolgt, selbst wenn R^5 in der allgemeinen Formel (G1) Wasserstoff ist oder wenn R^5 in der allgemeinen Formel (G1) einen Substituenten hat, so dass die Phenylgruppe, die keinen Substituenten hat und die an die 3-Position des Triazolgrundgerüsts gebunden ist, selektiv mit Iridium koordinieren kann, d.h. sie kann an Iridium gebunden werden, so dass eine ortho-metallierte Struktur gebildet wird.

[0021] Die Phenylgruppe, die an Iridium bindet, so dass eine ortho-metallierte Struktur gebildet wird, ist deshalb bevorzugt unsubstituiert, weil das zu einer Verbesserung der Zuverlässigkeit führt.

[0022] Der phosphoreszierende organometallische Iridiumkomplex, der eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, kann eine verbesserte Zuverlässigkeit haben, weil die 3-Position des Triazolgrundgerüsts die unsubstituierte Phenylgruppe hat, und er kann verschiedenste Strukturen haben, weil, in der Phenylgruppe in der 5-Position des Triazolgrundgerüsts, mit Ausnahme der einen der ortho-Positionen (R^1 in der allgemeinen Formel (G1)) mit der Alkylgruppe, die andere der ortho-Positionen (R^5 in der allgemeinen Formel (G1)), die meta-Positionen (R^2 und R^4 in der allgemeinen Formel (G1)) und die para-Position (R^3 in der allgemeinen Formel (G1)) substituiert oder unsubstituiert sein können. Da die Phenylgruppe in der 5-Position des Triazolgrundgerüsts einen Substituenten hat, so dass die Struktur nicht länger planar ist, kann die Wellenlänge des Lichts, das emittiert wird, in den Bereich kürzerer Wellenlängen verschoben werden.

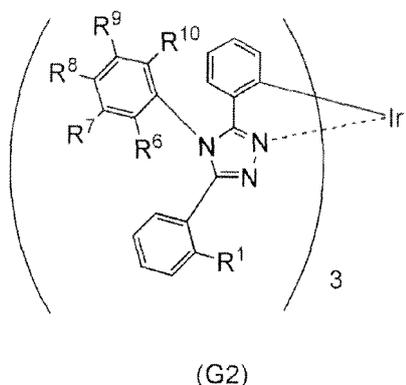
[0023] Ein organometallischer Komplex mit einer Struktur, die durch die allgemeine Formel (G1) dargestellt wird, ist ein Beispiel für den phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplex in dieser Ausführungsform, dessen Ligand eine Triazolverbindung ist, die eine Phenylgruppe in der 4-Position hat und die in der 5-Position eine Phenylgruppe mit einer Alkylgruppe in einer ortho-Position hat.



[0024] In der allgemeinen Formel (G1) ist R¹ eine Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen. R² bis R¹⁰ bedeuten unabhängig voneinander Wasserstoff oder eine Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen.

[0025] Spezifische Beispiele für die Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen, dargestellt durch R¹ bis R¹⁰, umfassen eine Methylgruppe, eine Ethylgruppe, eine Propylgruppe, eine Isopropylgruppe, eine Butylgruppe, eine sek-Butylgruppe, eine Isobutylgruppe, eine tert-Butylgruppe, eine Pentylgruppe, eine Isopentylgruppe, eine sek-Pentylgruppe, eine tert-Pentylgruppe, eine Neopentylgruppe, eine Hexylgruppe, eine Isohexylgruppe, eine sek-Hexylgruppe, eine tert-Hexylgruppe, eine Neohexylgruppe, eine 3-Methylpentylgruppe, eine 2-Methylpentylgruppe, eine 2-Ethylbutylgruppe, eine 1,2-Dimethylbutylgruppe und eine 2,3-Dimethylbutylgruppe. Im Hinblick auf die sterische Struktur und die Syntheseausbeute des Komplexes sind eine Methylgruppe, eine Ethylgruppe und eine Isopropylgruppe bevorzugt; und eine Methylgruppe ist besonders bevorzugt.

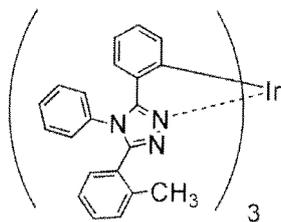
[0026] Eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist ein phosphoreszierender organometallischer Iridiumkomplex, der durch die allgemeine Formel (G2) dargestellt wird.



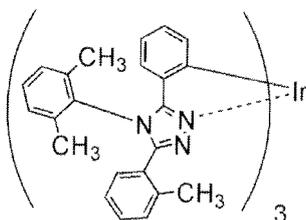
[0027] In der allgemeinen Formel (G2) ist R¹ eine Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen. R⁶ bis R¹⁰ bedeuten unabhängig voneinander Wasserstoff oder eine Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen. Spezifische Beispiele für die Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen, dargestellt durch R¹ und R⁶ bis R¹⁰, umfassen die spezifischen Beispiele für die Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen, die für die allgemeine Formel (G1) beschrieben wurden.

[0028] In jedem der zuvor beschriebenen phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplexe hat die Phenylgruppe, die an die 4-Position des Triazolgrundgerüsts gebunden ist, bevorzugt einen Substituenten in der ortho-Position bzw. in den ortho-Positionen (R⁶ und/oder R¹⁰ in der allgemeinen Formel (G1) oder (G2)). In diesem Fall ist die Struktur nicht länger planar, so dass die Wellenlänge des Lichts, das emittiert wird, in den Bereich kürzerer Wellenlängen verschoben werden kann. Weiterhin wird die Sublimationstemperatur verringert, so dass eine Zersetzung des Komplexes beim Vakuumaufdampfen verhindert werden kann, was zu einer verbesserten Beständigkeit führt. Folglich kann ein lichtemittierendes Element mit einer langen Lebensdauer, mit hervorragenden Eigenschaften und mit einer hohen Farbreinheit erhalten werden. Im Hinblick auf die sterische Struktur und die Syntheseausbeute des Komplexes ist der Substituent bevorzugt eine Methylgruppe, eine Ethylgruppe oder eine Isopropylgruppe, und eine Methylgruppe ist besonders bevorzugt.

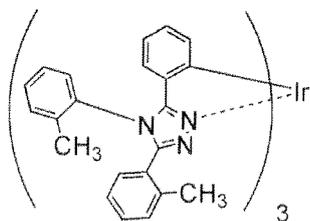
[0029] Im Folgenden werden spezifische Strukturformeln des zuvor beschriebenen phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplexes (Strukturformeln (100) bis (121)) angegeben, die jeweils eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung sind. Die vorliegende Erfindung ist jedoch nicht auf diese Beispiele beschränkt.



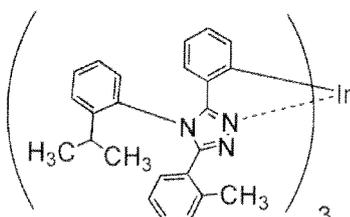
(100)



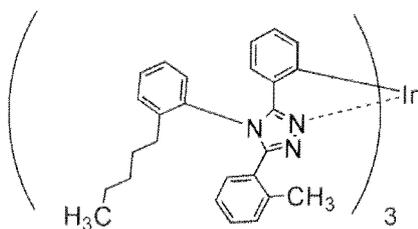
(101)



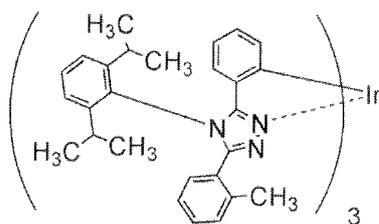
(102)



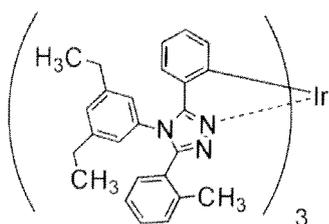
(103)



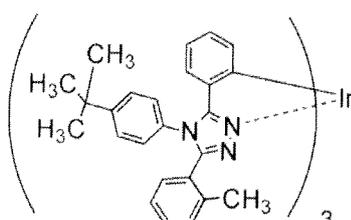
(104)



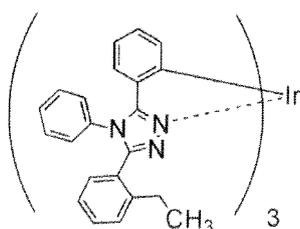
(105)



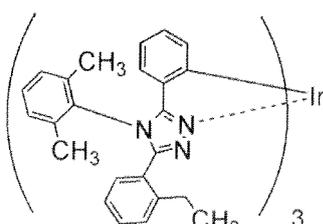
(106)



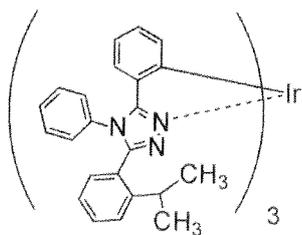
(107)



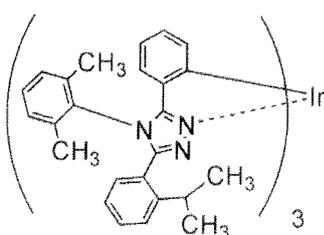
(108)



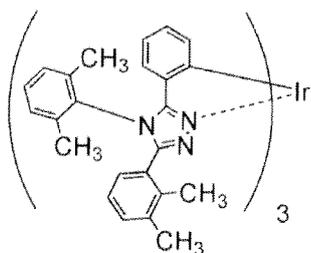
(109)



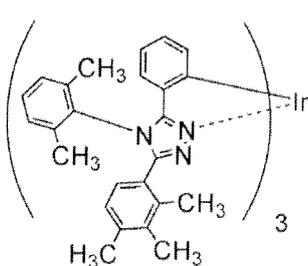
(110)



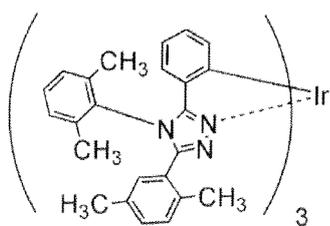
(111)



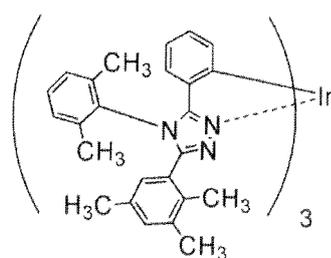
(112)



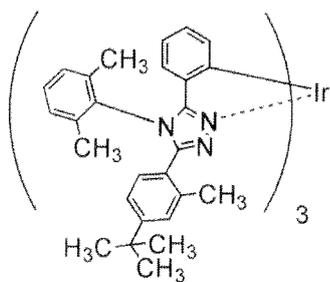
(113)



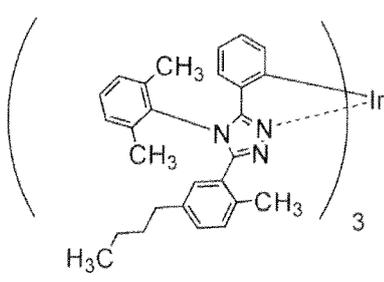
(114)



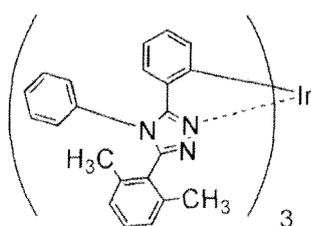
(115)



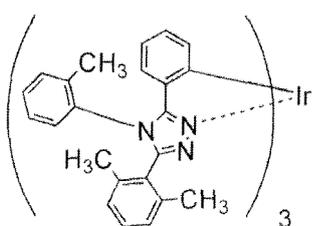
(116)



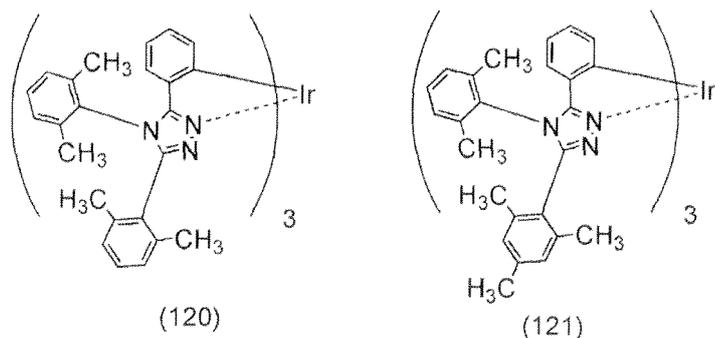
(117)



(118)



(119)



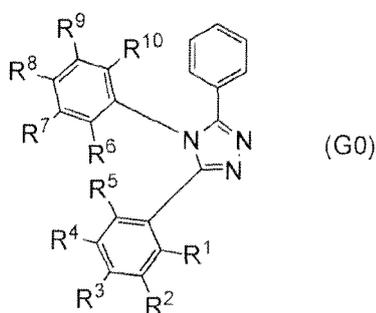
[0030] Die phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplexe, die durch die Strukturformeln (100) bis (121) dargestellt werden, sind neue Substanzen, die Phosphoreszenz emittieren können. Diese Substanzen können in Form von geometrischen Isomeren und Stereoisomeren vorliegen, was von der Art des Liganden abhängt. Der phosphoreszierende organometallische Iridiumkomplex, der eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, umfasst alle diese Isomere.

[0031] Im Folgenden wird ein Beispiel für ein Verfahren zum Herstellen eines phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplexes der allgemeinen Formel (G1) beschrieben.

<<Verfahren zum Herstellen eines phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplexes der allgemeinen Formel (G1)>>

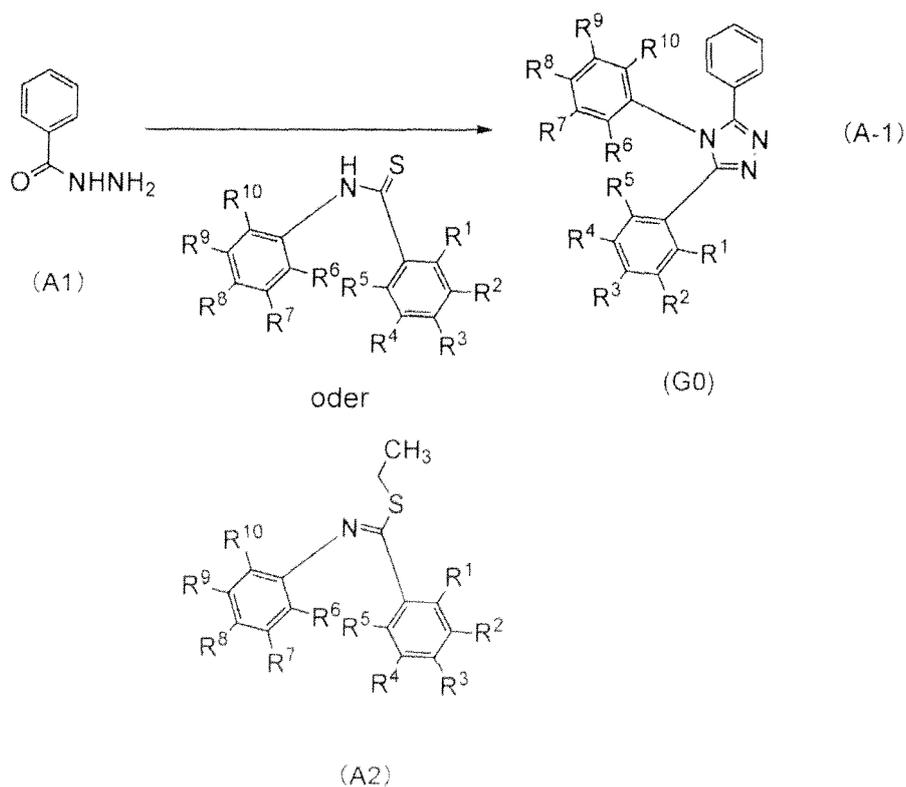
<Schritt 1: Verfahren zum Herstellen eines 4H-1,2,4-Triazolderivats>

[0032] Zuerst wird ein Beispiel für ein Verfahren zum Herstellen eines 4H-1,2,4-Triazolderivats, dargestellt durch die allgemeine Formel (G0), beschrieben.



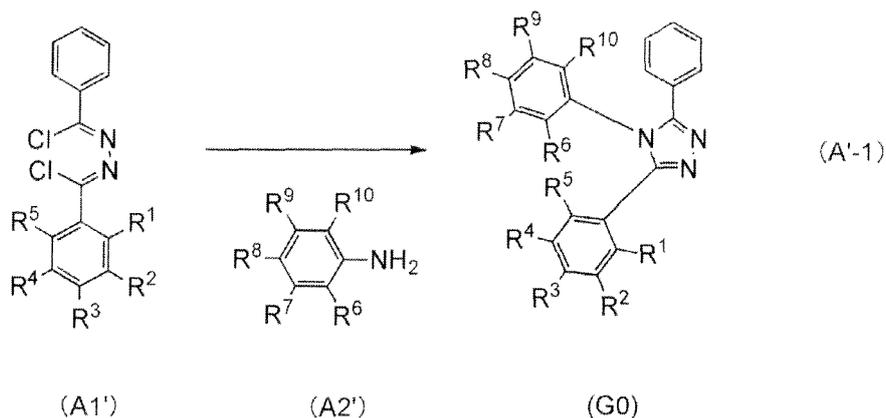
[0033] In der allgemeinen Formel (G0) ist R¹ eine Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen, und R² bis R¹⁰ bedeuten unabhängig voneinander Wasserstoff oder eine Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen.

[0034] Wie in dem Syntheschema (A-1) gezeigt ist, werden Benzoylhydrazin (A1) und eine Thioetherverbindung oder eine N-substituierte Thioamidverbindung (A2) miteinander umgesetzt, wobei ein 4H-1,2,4-Triazolderivat erhalten wird.



[0035] In dem Syntheschema (A-1) ist R¹ eine Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen, und R² bis R¹⁰ bedeuten unabhängig voneinander Wasserstoff oder eine Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen.

[0036] Das Verfahren zum Herstellen eines 4H-1,2,4-Triazololderivats ist jedoch nicht auf das Syntheschema (A-1) beschränkt. Ein Beispiel für andere Syntheseverfahren ist ein Verfahren, bei dem eine Hydrazidverbindung, umfassend R¹, und eine Thioetherverbindung oder eine N-substituierte Thioamidverbindung miteinander umgesetzt werden. Das Syntheschema (A'-1) zeigt ein weiteres Verfahren, bei dem eine Dihydrazidverbindung (A1') und eine primäre Aminverbindung (A2') miteinander umgesetzt werden.



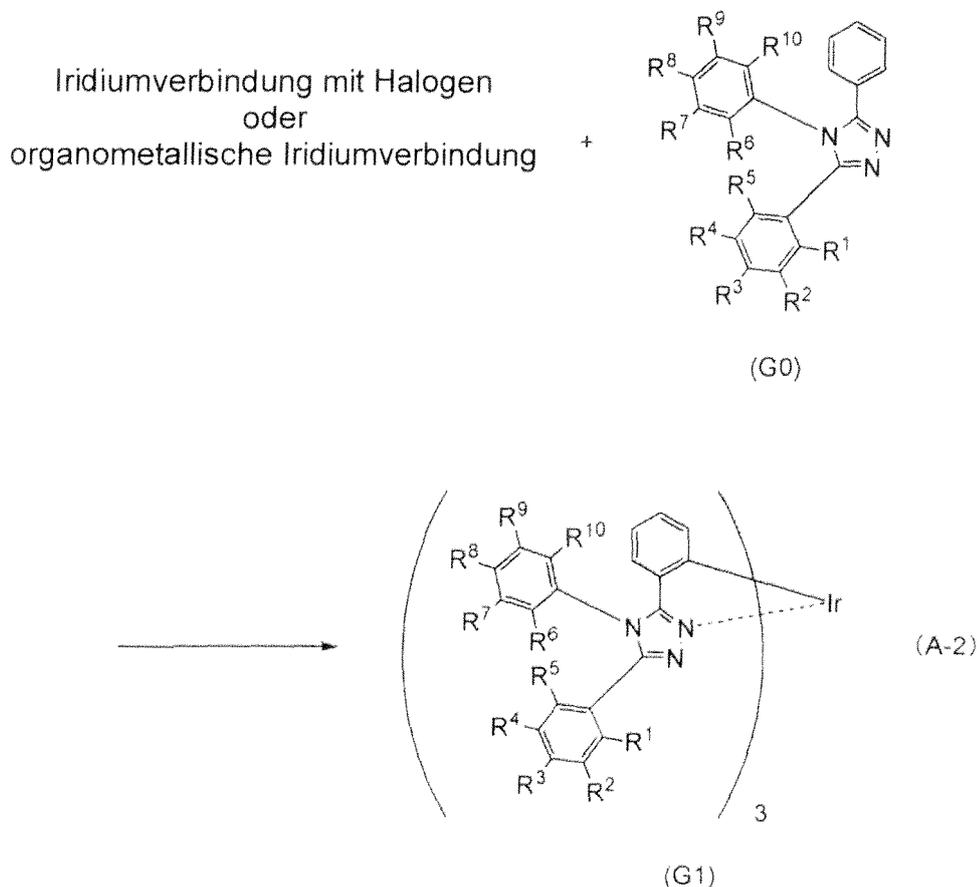
[0037] In dem Syntheschema (A'-1) ist R¹ eine Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen, und R² bis R¹⁰ bedeuten unabhängig voneinander Wasserstoff oder eine Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen.

[0038] Ein 4H-1,2,4-Triazololderivat der allgemeinen Formel (G0) kann, wie zuvor beschrieben wurde, unter Anwendung eines einfachen Syntheschemas hergestellt werden.

<Schritt 2: Verfahren zum Herstellen eines ortho-metallierten Komplexes, der ein 4H-1,2,4-Triazolderivat als Liganden enthält>

[0039] Wie in dem Syntheschema (A-2) gezeigt ist, wird das 4H-1,2,4-Triazolderivat, das entsprechend dem Syntheschema (A-1) in Schritt 1 erhalten wurde, mit einer Iridiumverbindung, die ein Halogen enthält (beispielsweise Iridiumchloridhydrat oder Ammoniumhexachloroiridat), oder mit einer organometallischen Iridiumkomplexverbindung (beispielsweise ein Acetylacetonatokomplex, ein Diethylsulfidkomplex, ein μ -Halogen verbrückter zweikerniger Komplex, in dem ein 4H-1,2,4-Triazolderivat ein Ligand ist, oder ein μ -Oxo verbrückter zweikerniger Komplex, in dem ein 4H-1,2,4-Triazolderivat ein Ligand ist) vermischt und das Gemisch wird dann erwärmt, wobei ein phosphoreszierender organometallischer Iridiumkomplex mit einer Struktur, die durch die allgemeine Formel (G1) dargestellt wird, erhalten wird.

[0040] Die Vorrichtung zum Erwärmen ist nicht auf bestimmte Vorrichtungen beschränkt und es kann ein Ölbad, ein Sandbad oder ein Aluminiumblock als Erwärmungsvorrichtung verwendet werden. Alternativ können Mikrowellen zum Erwärmen verwendet werden. Das Erwärmen kann ebenfalls durchgeführt werden, nachdem das 4H-1,2,4-Triazolderivat, das in Schritt 1 erhalten wurde, und die Iridiumverbindung mit einem Halogen oder die organometallische Iridiumkomplexverbindung in einem Lösungsmittel auf der Basis eines Alkohols (beispielsweise Glycerin, Ethylenglycol, 2-Methoxyethanol oder 2-Ethoxyethanol) gelöst wurden.



[0041] In dem Syntheschema (A-2) ist R^1 eine Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen, und R^2 bis R^{10} bedeuten unabhängig voneinander Wasserstoff oder eine Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen.

[0042] Von den zuvor beschriebenen Verbindungen (A1), (A2), (A1') und (A2') sind viele unterschiedliche Verbindungen handelsüblich erhältlich oder können synthetisiert werden; folglich können viele unterschiedliche 4H-1,2,4-Triazolderivate entsprechend der allgemeinen Formel (G0) hergestellt werden. Der phosphoreszierende organometallische Iridiumkomplex entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeichnet sich deshalb dadurch aus, dass eine Vielzahl von Ligandenvariationen möglich ist. Wenn solch ein organometallischer Komplex, bei dem verschiedenste Ligandenvariationen möglich sind, für die Herstellung eines lichtemittierenden Elements verwendet wird, dann können die Eigenschaften des Elements leicht so genau eingestellt werden, dass die gewünschten Eigenschaften des lichtemittierenden Elements erhalten werden.

[0043] Die vorangegangene Beschreibung des Beispiels für ein Verfahren zum Herstellen eines phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplexes ist lediglich eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung; die vorliegende Erfindung ist jedoch nicht auf dieses Beispiel beschränkt und es können auch andere Syntheseverfahren angewandt werden.

[0044] Der zuvor beschriebene phosphoreszierende organometallische Iridiumkomplex, der eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, kann Phosphoreszenz emittieren und kann deshalb als ein lichtemittierendes Material oder als eine lichtemittierende Substanz für ein lichtemittierendes Element verwendet werden.

[0045] Wenn der phosphoreszierende organometallische Iridiumkomplex, der eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, verwendet wird, dann kann ein lichtemittierendes Element, eine lichtemittierende Vorrichtung, eine elektronische Vorrichtung oder eine Beleuchtungsvorrichtung mit einer hohen Emissionseffizienz erhalten werden. Es kann ebenfalls ein lichtemittierendes Element, eine lichtemittierende Vorrichtung, eine elektronische Vorrichtung oder eine Beleuchtungsvorrichtung mit einem geringen Energieverbrauch erhalten werden.

[0046] Die Struktur, die in dieser Ausführungsform beschrieben wurde, kann gegebenenfalls mit jeder der Strukturen, die in den anderen Ausführungsformen beschrieben werden, kombiniert werden.

(Ausführungsform 2)

[0047] In dieser Ausführungsform wird ein lichtemittierendes Element, in dem der organometallische Komplex entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, der in der Ausführungsform 1 beschrieben wurde, für eine lichtemittierende Schicht verwendet wird, mit Bezug auf die **Fig. 1** beschrieben.

[0048] In einem lichtemittierenden Element dieser Ausführungsform, das in der **Fig. 1** gezeigt ist, ist eine EL Schicht **102**, die eine lichtemittierende Schicht **113** umfasst, zwischen einem Paar von Elektroden (einer ersten Elektrode (Anode) **101** und einer zweiten Elektrode (Kathode) **103**) angeordnet, und die EL Schicht **102** umfasst eine Lochinjektionsschicht **111**, eine Lochtransportschicht **112**, eine Elektronentransportschicht **114**, eine Elektroneninjectionsschicht **115**, eine ladungsträgererzeugende Schicht (E) **116** und dergleichen, zusätzlich zu der lichtemittierenden Schicht **113**.

[0049] Wenn eine Spannung an solch ein lichtemittierendes Element angelegt wird, dann rekombinieren Löcher, die von der Seite der ersten Elektrode **101** injiziert wurden, und Elektronen, die von der Seite der zweiten Elektrode **103** injiziert wurden, in der lichtemittierenden Schicht **113**, so dass der organometallische Komplex in einen angeregten Zustand überführt wird. Wenn der organometallische Komplex vom angeregten Zustand in den Grundzustand zurückkehrt, dann wird Licht emittiert. Auf diese Weise dient der organometallische Komplex entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung als lichtemittierende Substanz in dem lichtemittierenden Element.

[0050] Die Lochinjektionsschicht **111**, die in der EL Schicht **102** enthalten ist, ist eine Schicht, die eine Substanz mit guten Lochtransporteigenschaften und eine Akzeptorsubstanz enthält. Wenn durch die Akzeptorsubstanz Elektronen aus der Substanz mit guten Lochtransporteigenschaften extrahiert werden, dann werden Löcher erzeugt. Auf diese Weise werden Löcher, die in der Lochinjektionsschicht **111** erzeugt wurden, über die Lochtransportschicht **112** in die lichtemittierende Schicht **113** injiziert.

[0051] Die ladungsträgererzeugende Schicht (E) **116** ist eine Schicht, die eine Substanz mit guten Lochtransporteigenschaften und eine Akzeptorsubstanz enthält. Durch die Akzeptorsubstanz werden Elektronen aus der Substanz mit guten Lochtransporteigenschaften extrahiert, und die extrahierten Elektronen werden von der Elektroneninjectionsschicht **115** mit Elektroneninjectionseigenschaften über die Elektronentransportschicht **114** in die lichtemittierende Schicht **113** injiziert.

[0052] Ein spezifisches Beispiel, in dem das lichtemittierende Element, das in dieser Ausführungsform beschrieben wird, hergestellt wird, wird im Folgenden beschrieben.

[0053] Für die erste Elektrode (Anode) **101** und die zweite Elektrode (Kathode) **103** kann ein Metall, eine Legierung, eine elektrisch leitfähige Verbindung, ein Gemisch davon, oder dergleichen verwendet werden. Beispielsweise können Indiumoxid-Zinnoxid (Indiumzinnoxid), Indiumoxid-Zinnoxid enthaltend Silicium oder Siliciumoxid, Indiumoxid-Zinkoxid (Indiumzinkoxid), Indiumoxid enthaltend Wolframoxid und Zinkoxid, Gold (Au),

Platin (Pt), Nickel (Ni), Wolfram (W), Chrom (Cr), Molybdän (Mo), Eisen (Fe), Cobalt (Co), Kupfer (Cu), Palladium (Pd) und Titan (Ti) verwendet werden. Weiterhin kann ein Element der Gruppe 1 oder der Gruppe 2 des Periodensystems, wie zum Beispiel ein Alkalimetall, wie beispielsweise Lithium (Li) oder Cäsium (Cs), oder ein Erdalkalimetall, wie beispielsweise Calcium (Ca) oder Strontium (Sr), Magnesium (Mg), eine Legierung mit solch einem Element (MgAg, AlLi), ein Seltenerdmetall, wie zum Beispiel Europium (Eu) oder Ytterbium (Yb), eine Legierung mit solch einem Element, Graphen, und dergleichen verwendet werden. Die erste Elektrode (Anode) **101** und die zweite Elektrode (Kathode) **103** können zum Beispiel unter Anwendung eines Sputterverfahrens, eines Aufdampfungsverfahrens (einschließlich eines Vakuumaufdampfungsverfahrens), oder dergleichen hergestellt werden.

[0054] Beispiele für die Substanzen mit guten Lochtransporteigenschaften, die für die Lochinjektionsschicht **111**, die Lochtransportschicht **112** und die ladungsträgererzeugende Schicht (E) **116** verwendet werden können, umfassen: aromatische Amine, wie zum Beispiel 4,4'-Bis[N-(1-naphthyl)-N-phenylamino]biphenyl (Abkürzung: NPB oder α -NPD), N,N'-Bis(3-methylphenyl)-N,N'-diphenyl-[1,1'-biphenyl]-4,4'-diamin (Abkürzung: TPD), 4,4',4''-Tris(carbazol-9-yl)triphenylamin (Abkürzung: TCTA), 4,4',4''-Tris(N,N-diphenylamino)triphenylamin (Abkürzung: TDATA), 4,4',4''-Tris[N-(3-methylphenyl)-N-phenylamino]triphenylamin (Abkürzung: MTDATA) und 4,4'-Bis[N-(spiro-9,9'-bifluoren-2-yl)-N-phenylamino]biphenyl (Abkürzung: BSPB); 3-[N-(9-Phenylcarbazol-3-yl)-N-phenylamino]-9-phenylcarbazol (Abkürzung: PCzPCA1); 3,6-Bis[N-(9-phenylcarbazol-3-yl)-N-phenylamino]-9-phenylcarbazol (Abkürzung: PCzPCA2); 3-[N-(1-Naphthyl)-N-(9-phenylcarbazol-3-yl)amino]-9-phenylcarbazol (Abkürzung: PCzPCN1); und dergleichen. Weiterhin können die folgenden Carbazolderivate und dergleichen verwendet werden: 4,4'-Di(N-carbazolyl)biphenyl (Abkürzung: CBP), 1,3,5-Tris[4-(N-carbazolyl)phenyl]benzol (Abkürzung: TCPB) und 9-[4-(10-Phenyl-9-anthracenyl)phenyl]-9H-carbazol (Abkürzung: CzPA). Die hier genannten Substanzen sind hauptsächlich solche mit einer Lochbeweglichkeit von 10^{-6} cm²/Vs oder mehr. Es kann jedoch auch jede andere Substanz verwendet werden, vorausgesetzt, dass die Lochtransporteigenschaften besser als die Elektronentransporteigenschaften der Substanz sind.

[0055] Weiterhin kann eine Verbindung mit einem hohen Molekulargewicht, wie beispielsweise Poly(N-vinylcarbazol) (Abkürzung: PVK), Poly(4-vinyltriphenylamin) (Abkürzung: PVTPA), Poly[N-(4-{N-[4-(4-diphenylamino)phenyl]phenyl-N'-phenylamino}phenyl)methacrylamid] (Abkürzung: PTPDMA) oder Poly[N,N'-bis(4-butylphenyl)-N,N'-bis(phenyl)benzidin] (Abkürzung: Poly-TPD) verwendet werden.

[0056] Beispiele für die Akzeptorsubstanzen, die für die Lochinjektionsschicht **111** und die ladungsträgererzeugende Schicht (E) **116** verwendet werden können, umfassen ein Übergangsmetalloxid oder ein Oxid eines Metalls der Gruppen 4 bis 8 des Periodensystems. Molybdänoxid ist besonders bevorzugt.

[0057] Die lichtemittierende Schicht **113** enthält den organometallischen Komplex, der in der Ausführungsform 1 beschrieben wurde, als Gastmaterial, das als lichtemittierende Substanz dient, und eine Substanz, die eine höhere Triplettanregungsenergie als dieser organometallische Komplex hat und die als Wirtsmaterial dient.

[0058] Beispiele für bevorzugte Substanzen (d.h. Wirtsmaterialien), die verwendet werden können, um jeden der zuvor beschriebenen organometallischen Komplexe zu dispergieren, umfassen ein aromatisches Amin, wie beispielsweise 4,4',4''-Tris[N-(3-methylphenyl)-N-phenylamino]triphenylamin (Abkürzung: TDATA); ein Carbazolderivat, wie beispielsweise CBP, 1,3-Bis(N-carbazolyl)benzol (Abkürzung: mCP), 4,4'-Bis(carbazol-9-yl)-2,2'-dimethylbiphenyl (Abkürzung: CDBP) und 4,4',4''-Tris(carbazol-9-yl)triphenylamin (Abkürzung: TCTA); eine Stickstoff enthaltende heterocyclische Verbindung; ein Thiophenderivat; ein Furanderivat; und einen Metallkomplex von Zink, Aluminium oder dergleichen. Es kann ebenfalls eine Verbindung mit einem hohen Molekulargewicht verwendet werden, wie zum Beispiel PVK, ein Polyparaphenylenvinylenderivat, ein Polyparaphenylenderivat, ein Polyfluorenderivat oder ein Poly(spirofluoren)derivat, oder ein Dendrimer.

[0059] Wenn die lichtemittierende Schicht **113** den zuvor beschriebenen organometallischen Komplex (Gastmaterial) und das zuvor beschriebene Wirtsmaterial enthält, dann kann die lichtemittierende Schicht **113** Phosphoreszenz mit einer hohen Effizienz emittieren.

[0060] Die Elektronentransportschicht **114** ist eine Schicht, die eine Substanz mit guten Elektronentransporteigenschaften enthält. Für die Elektronentransportschicht **114** können Metallkomplexe, wie beispielsweise Alq₃, Tris(4-methyl-8-chinolinolato)aluminium (Abkürzung: Almq₃), Bis(10-hydroxybenzo[h]chinolinato)beryllium (Abkürzung: BeBq₂), BAq, Zn(BOX)₂ oder Bis[2-(2-hydroxyphenyl)benzothiazolato]zink (Abkürzung: Zn(BTZ)₂), verwendet werden. Alternativ kann eine heteroaromatische Verbindung, wie zum Beispiel 2-(4-Biphenyl)-5-(4-tert-butylphenyl)-1,3,4-oxadiazol (Abkürzung: PBD), 1,3-Bis[5-(p-tert-butylphenyl)-1,3,4-oxadiazol-2-yl]benzol (Abkürzung: OXD-7), 3-(4-tert-Butylphenyl)-4-phenyl-5-(4-biphenyl)-1,2,4-triazol (Abkürzung:

TAZ), 3-(4-tert-Butylphenyl)-4-(4-ethylphenyl)-5-(4-biphenyl)-1,2,4-triazol (Abkürzung: p-EtTAZ), Bathophenanthrolin (Abkürzung: Bphen), Bathocuproin (Abkürzung: BCP) oder 4,4'-Bis(5-methylbenzoxazol-2-yl)stilben (Abkürzung: BzOs) verwendet werden. Es kann ebenfalls eine Verbindung mit einem hohen Molekulargewicht verwendet werden, wie zum Beispiel Poly(2,5-pyridindiy) (Abkürzung: PPy), Poly[(9,9-dihexylfluoren-2,7-diyl)-co-(pyridin-3,5-diyl)] (Abkürzung: PF-Py) oder Poly[(9,9-dioctylfluoren-2,7-diyl)-co-(2,2'-bipyridin-6,6'-diyl)] (Abkürzung: PF-BPy). Die hier genannten Substanzen sind hauptsächlich solche mit einer Elektronenbeweglichkeit von 10^{-6} cm²/Vs oder mehr. Es kann jedoch auch jede andere Substanz für die Elektronentransportschicht **114** verwendet werden, vorausgesetzt, dass die Elektronentransporteigenschaften besser als die Lochtransporteigenschaften der Substanz sind.

[0061] Die Elektronentransportschicht **114** kann aus einer einzelnen Schicht bestehen, oder sie kann eine Schichtanordnung sein, in der zwei oder mehr Schichten, welche die zuvor beschriebenen Substanzen enthalten, übereinander geschichtet sind.

[0062] Die Elektroneninjectionsschicht **115** ist eine Schicht, die eine Substanz mit guten Elektroneninjektionseigenschaften enthält. Für die Elektroneninjectionsschicht **115** kann ein Alkalimetall, ein Erdalkalimetall, Magnesium (Mg) oder eine Verbindung einer dieser Metalle, wie zum Beispiel Lithiumfluorid (LiF), Cäsiumfluorid (CsF), Calciumfluorid (CaF₂) oder Lithiumoxid (LiO_x), verwendet werden. Es kann ebenfalls eine Seltenerdmetallverbindung, wie zum Beispiel Erbiumfluorid (ErF₃), verwendet werden. Alternativ können die Substanzen für die Herstellung der Elektronentransportschicht **114**, die zuvor beschrieben wurden, verwendet werden.

[0063] Es kann ebenfalls ein Kompositmaterial, in dem eine organische Verbindung und ein Elektronendonator (Donor) miteinander vermischt sind, für die Elektroneninjectionsschicht **115** verwendet werden. Solch ein Kompositmaterial hat ausgezeichnete Elektroneninjektionseigenschaften und Elektronentransporteigenschaften, weil durch den Elektronendonator Elektronen in der organischen Verbindung erzeugt werden. In diesem Fall ist die organische Verbindung bevorzugt ein Material, das die erzeugten Elektronen gut transportieren kann. Beispielsweise können die Substanzen zum Herstellen der Elektronentransportschicht **114** (wie zum Beispiel ein Metallkomplex oder eine heteroaromatische Verbindung), die zuvor beschrieben wurden, oder dergleichen verwendet werden. Als Elektronendonator kann eine Substanz verwendet werden, die bezüglich der organischen Verbindung elektronenliefernde Eigenschaften hat. Bevorzugte Beispiele dafür sind ein Alkalimetall, ein Erdalkalimetall und ein Seltenerdmetall. Beispielsweise können Magnesium und dergleichen, sowie Lithium, Cäsium, Calcium, Erbium und Ytterbium verwendet werden. Weiterhin können Alkalimetalloxide oder Erdalkalimetalloxide verwendet werden, wie zum Beispiel Lithiumoxid, Calciumoxid, Bariumoxid und dergleichen. Alternativ kann eine LewisBase, wie beispielsweise Magnesiumoxid, verwendet werden. Eine organische Verbindung, wie zum Beispiel Tetrathiafulvalen (Abkürzung: TTF), kann ebenfalls verwendet werden.

[0064] Die zuvor beschriebene Lochinjectionsschicht **111**, Lochtransportschicht **112**, lichtemittierende Schicht **113**, Elektronentransportschicht **114**, Elektroneninjectionsschicht **115** und ladungsträgererzeugende Schicht (E) **116** können jeweils zum Beispiel unter Anwendung eines Aufdampfungsverfahrens (beispielsweise eines Vakuumaufdampfungsverfahrens), eines Tintenstrahlverfahrens oder eines Beschichtungsverfahrens hergestellt werden.

[0065] In dem zuvor beschriebenen lichtemittierenden Element fließt in Folge einer Potentialdifferenz zwischen der ersten Elektrode **101** und der zweiten Elektrode **103** ein Strom, und Löcher und Elektronen rekombinieren in der EL Schicht **102**, wobei Licht emittiert wird. Dann wird das emittierte Licht durch die erste Elektrode **101** und/oder durch die zweite Elektrode **103** nach Außen geleitet (ausgekoppelt). Deshalb muss die erste Elektrode **101** oder die zweite Elektrode, oder beide Elektroden, eine Elektrode sein, die lichtdurchlässig ist.

[0066] Das zuvor beschriebene lichtemittierende Element kann Phosphoreszenz emittieren, die von dem organometallischen Komplex stammt, und ist deshalb effizienter als ein lichtemittierendes Element, das eine fluoreszierende Verbindung verwendet.

[0067] Das lichtemittierende Element, das in dieser Ausführungsform beschrieben wurde, ist ein Beispiel für ein lichtemittierendes Element, das unter Verwendung des organometallischen Komplexes entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung hergestellt wird. Eine lichtemittierende Vorrichtung, die das zuvor beschriebene lichtemittierende Element enthält, kann eine lichtemittierende passiv-Matrix-Vorrichtung oder eine lichtemittierende aktiv-Matrix-Vorrichtung sein. Es kann ebenfalls eine lichtemittierende Vorrichtung mit einer Hohlraum-Mikrostruktur (microcavity structure) hergestellt werden, die ein lichtemittierendes Element enthält, das nicht den zuvor beschriebenen lichtemittierenden Elementen entspricht; diese Struktur wird in

einer anderen Ausführungsform beschrieben. Jede der zuvor beschriebenen lichtemittierenden Vorrichtungen ist eine erfindungsgemäße Vorrichtung.

[0068] Wenn eine lichtemittierende aktiv-Matrix-Vorrichtung hergestellt wird, dann ist die Struktur des TFT nicht auf eine bestimmte Struktur beschränkt. Es kann beispielsweise ein geschichteter TFT oder ein invertiert geschichteter TFT verwendet werden. Eine Treiberschaltung, die über einem TFT-Substrat gebildet wird, kann sowohl mit n-Kanal-TFTs als auch mit p-Kanal-TFTs gebildet werden, oder sie kann entweder mit n-Kanal-TFTs oder mit p-Kanal-TFTs gebildet werden. Die Kristallinität eines Halbleiterfilms, der für den TFT verwendet wird, ist ebenfalls nicht beschränkt. Es kann beispielsweise ein amorpher Halbleiterfilm, ein kristalliner Halbleiterfilm oder ein oxidischer Halbleiterfilm oder dergleichen verwendet werden.

[0069] Die Struktur, die in dieser Ausführungsform beschrieben wurde, kann gegebenenfalls mit jeder der Strukturen, die in den anderen Ausführungsformen beschrieben werden, kombiniert werden.

(Ausführungsform 3)

[0070] In dieser Ausführungsform, die eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, wird ein lichtemittierendes Element mit einer lichtemittierenden Schicht beschrieben, die zwei oder mehr verschiedene organische Verbindungen sowie einen phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplex enthält.

[0071] Ein lichtemittierendes Element, das in dieser Ausführungsform beschrieben wird, umfasst eine EL Schicht **203** zwischen einem Paar von Elektroden (einer Anode **201** und einer Kathode **202**), wie in der **Fig. 2** gezeigt. Die EL Schicht **203** umfasst mindestens eine lichtemittierende Schicht **204** und kann weiterhin eine Lochinjektionsschicht, eine Lochtransportschicht, eine Elektronentransportschicht, eine Elektroneninjectionsschicht, eine ladungsträgererzeugende Schicht (E) und dergleichen umfassen. Für die Lochinjektionsschicht, die Lochtransportschicht, die Elektronentransportschicht, die Elektroneninjectionsschicht und die ladungsträgererzeugende Schicht (E) können die Substanzen verwendet werden, die in der Ausführungsform 2 beschrieben wurden.

[0072] Die lichtemittierende Schicht **204**, die in dieser Ausführungsform beschrieben wird, enthält eine phosphoreszierende Verbindung **205**, die der phosphoreszierende organometallische Iridiumkomplex ist, der in der Ausführungsform 1 beschrieben wurde, eine erste organische Verbindung **206** und eine zweite organische Verbindung **207**. Die phosphoreszierende Verbindung **205** ist ein Gastmaterial in der lichtemittierenden Schicht **204**. Eine der ersten organischen Verbindung **206** und der zweiten organischen Verbindung **207**, deren Gehalt höher als die der anderen in der lichtemittierenden Schicht **204** ist, ist ein Wirtsmaterial in der lichtemittierenden Schicht **204**.

[0073] Wenn die lichtemittierende Schicht **204** die Struktur hat, in der das Gastmaterial in dem Wirtsmaterial dispergiert ist, dann kann eine Kristallisation der lichtemittierenden Schicht unterdrückt werden. Es ist ebenfalls möglich, ein Konzentrationsquenchen infolge einer zu hohen Konzentration des Gastmaterials zu unterdrücken, so dass das lichtemittierende Element eine höhere Emissionseffizienz hat.

[0074] Es ist bevorzugt, dass die Triplettanregungsenergie (T_1 -Wert) sowohl der ersten organischen Verbindung **206** als auch der zweiten organischen Verbindung **207** höher als die der phosphoreszierenden Verbindung **205** ist. Der Grund dafür ist der, dass, wenn der T_1 -Wert der ersten organischen Verbindung **206** (oder der zweiten organischen Verbindung **207**) niedriger als der der phosphoreszierenden Verbindung **205** ist, die Triplettanregungsenergie der phosphoreszierenden Verbindung **205**, welche die Lichtemission beeinflusst, durch die erste organische Verbindung **206** (oder die zweite organische Verbindung **207**) gequencht wird, was zu einer Verringerung der Emissionseffizienz führt.

[0075] Hier werden der Förster-Mechanismus (Dipol-Dipol-Wechselwirkung) und der Dexter-Mechanismus (Elektronenaustausch-Wechselwirkung) angewandt, welche die Energieübertragung zwischen Molekülen beschreiben, um die Effizienz der Energieübertragung von einem Wirtsmaterial auf ein Gastmaterial zu verbessern. Entsprechend diesen Mechanismen ist es bevorzugt, dass ein Emissionsspektrum eines Wirtsmaterials (ein Fluoreszenzspektrum bei der Energieübertragung aus einem angeregten Singulettzustand, und ein Phosphoreszenzspektrum bei der Energieübertragung aus einem angeregten Triplettzustand) weit mit einem Absorptionsspektrum eines Gastmaterials (genauer gesagt, ein Spektrum in einem Absorptionsband im Bereich der längsten Wellenlängen (der geringsten Energie)) überlappt. Es ist jedoch gewöhnlich schwierig, eine Überlappung zwischen einem Fluoreszenzspektrum eines Wirtsmaterials und einem Absorptionsspektrum in einem Absorptionsband im Bereich der längsten Wellenlängen (der geringsten Energie) eines Gastmaterials

zu erhalten. Der Grund dafür ist folgender: wenn das Fluoreszenzspektrum des Wirtsmaterials mit dem Absorptionsspektrum in dem Absorptionsband im Bereich der längsten Wellenlängen (der geringsten Energie) des Gastmaterials überlappt, dann wird der T_1 -Wert des Wirtsmaterials niedriger als der T_1 -Wert der phosphoreszierenden Verbindung und das zuvor genannte Problem des Quenchens tritt auf, weil ein Phosphoreszenzspektrum des Wirtsmaterials im Bereich längerer Wellenlängen (geringerer Energie) als das Fluoreszenzspektrum liegt; wenn das Wirtsmaterial so gewählt wird, dass der T_1 -Wert des Wirtsmaterials größer als der T_1 -Wert der phosphoreszierenden Verbindung ist, um das Problem des Quenchens zu umgehen, dann wird das Fluoreszenzspektrum des Wirtsmaterials in den Bereich kürzerer Wellenlängen (höherer Energie) verschoben, so dass das Fluoreszenzspektrum nicht mit dem Absorptionsspektrum in dem Absorptionsband im Bereich der längsten Wellenlängen (der geringsten Energie) eines Gastmaterials überlappt. Deshalb ist es gewöhnlich schwierig, eine Überlappung zwischen einem Fluoreszenzspektrum eines Wirtsmaterials und einem Absorptionsspektrum in einem Absorptionsband im Bereich der längsten Wellenlängen (der geringsten Energie) eines Gastmaterials zu erhalten, um die Energieübertragung aus einem angeregten Singulettzustand eines Wirtsmaterials zu maximieren.

[0076] In dieser Ausführungsform ist es deshalb bevorzugt, dass die Kombination aus der ersten organischen Verbindung **206** und der zweiten organischen Verbindung **207** einen Exciplex (einen angeregten Komplex) bildet. In diesem Fall bilden die erste organische Verbindung **206** und die zweite organische Verbindung **207** einen Exciplex, wenn die Ladungsträger (Elektronen und Löcher) in der lichtemittierenden Schicht **204** rekombinieren. Auf diese Weise werden das Fluoreszenzspektrum der ersten organischen Verbindung **206** und das der zweiten organischen Verbindung **207** in der lichtemittierenden Schicht **204** in ein Emissionsspektrum des Exciplex umgewandelt, das im Bereich längerer Wellenlängen liegt. Wenn weiterhin die erste organische Verbindung **206** und die zweite organische Verbindung **207** so gewählt werden, dass das Emissionsspektrum des Exciplex weit mit dem Absorptionsspektrum des Gastmaterials überlappt, dann kann die Energieübertragung aus einem angeregten Singulettzustand maximiert werden. Es wird davon ausgegangen, dass auch im Fall eines angeregten Triplettzustands eine Energieübertragung aus dem Exciplex, nicht aus dem Wirtsmaterial, stattfindet.

[0077] Für die phosphoreszierende Verbindung **205** wird der phosphoreszierende organometallische Iridiumkomplex verwendet, der in der Ausführungsform 1 beschrieben wurde. Die Kombination aus der ersten organischen Verbindung **206** und der zweiten organischen Verbindung **207** kann so gewählt werden, so dass ein Exciplex gebildet wird, aber eine Kombination aus einer Verbindung, die Elektronen aufnehmen kann (eine Verbindung mit Elektroneneinfangeigenschaften), und einer Verbindung, die Löcher aufnehmen kann (eine Verbindung mit Locheneinfangeigenschaften), wird bevorzugt verwendet.

[0078] Als Verbindung, die Elektronen aufnehmen kann, wird bevorzugt eine heteroaromatische Verbindung mit einem Mangel an π -Elektronen verwendet, wie beispielsweise eine Stickstoff enthaltende heteroaromatische Verbindung. Es kann zum Beispiel ein Chinoxalinderivat oder ein Dibenzochinoxalinderivat verwendet werden, und Beispiele dafür umfassen 2-[3-(Dibenzothiophen-4-yl)phenyl]dibenzo[f,h]chinoxalin (Abkürzung: 2mDBTPDBq-II), 2-[3'-(Dibenzothiophen-4-yl)biphenyl-3-yl]dibenzo[f,h]chinoxalin (Abkürzung: 2mDBTBPDBq-II), 2-[4-(3,6-Diphenyl-9H-carbazol-9-yl)phenyl]dibenzo[f,h]chinoxalin (Abkürzung: 2CzPDBq-III), 7-[3-(Dibenzothiophen-4-yl)phenyl]dibenzo[f,h]chinoxalin (Abkürzung: 7mDBTPDBq-II) und 6-[3-(Dibenzothiophen-4-yl)phenyl]dibenzo[f,h]chinoxalin (Abkürzung: 6mDBTPDBq-II).

[0079] Als Verbindung, die Löcher aufnehmen kann, wird bevorzugt eine heteroaromatische Verbindung, die reich an π -Elektronen ist (wie zum Beispiel ein Carbazolderivat oder ein Indolderivat), oder ein aromatisches Amin verwendet. Beispiele dafür umfassen: 4-Phenyl-4'-(9-phenyl-9H-carbazol-3-yl)triphenylamin (Abkürzung: PCBA1BP), 4,4'-Di(1-naphthyl)-4'-(9-phenyl-9H-carbazol-3-yl)triphenylamin (Abkürzung: PCBNBB), 3-[N-(1-Naphthyl)-N-(9-phenylcarbazol-3-yl)amino]-9-phenylcarbazol (Abkürzung: PCzPCN1), 4,4',4''-Tris[N-(1-naphthyl)-N-phenylamino]triphenylamin (Abkürzung: 1'-TNATA), 2,7-Bis[N-(4-diphenylaminophenyl)-N-phenylamino]spiro-9,9'-bifluoren (Abkürzung: DPA2SF), N,N'-Bis(9-phenylcarbazol-3-yl)-N,N'-diphenylbenzol-1,3-diamin (Abkürzung: PCA2B), N-(9,9-Dimethyl-2-N',N'-diphenylamino-9H-fluoren-7-yl)diphenylamin (Abkürzung: DPNF), N,N',N''-Triphenyl-N,N',N''-tris(9-phenylcarbazol-3-yl)benzol-1,3,5-triamin (Abkürzung: PCA3B), 2-[N-(9-Phenylcarbazol-3-yl)-N-phenylamino]spiro-9,9'-bifluoren (Abkürzung: PCASF), 2-[N-(4-Diphenylaminophenyl)-N-phenylamino]spiro-9,9'-bifluoren (Abkürzung: DPASF), N,N'-Bis[4-(carbazol-9-yl)phenyl]-N,N'-diphenyl-9,9-dimethylfluoren-2,7-diamin (Abkürzung: YGA2F), 4,4'-Bis[N-(3-methylphenyl)-N-phenylamino]biphenyl (Abkürzung: TPD), 4,4'-Bis[N-(4-diphenylaminophenyl)-N-phenylamino]biphenyl (Abkürzung: DPAB), N-(9,9-Dimethyl-9H-fluoren-2-yl)-N-[9,9-dimethyl-2-[N'-phenyl-N'-(9,9-dimethyl-9H-fluoren-2-yl)amino]-9H-fluoren-7-yl]phenylamin (Abkürzung: DFLADFL), 3-[N-(9-Phenylcarbazol-3-yl)-N-phenylamino]-9-phenylcarbazol (Abkürzung: PCzPCA1), 3-[N-(4-Diphenylaminophenyl)-N-phenylamino]-9-phenylcar-

bazol (Abkürzung: PCzDPA1), 3,6-Bis[N-(4-diphenylaminophenyl)-N-phenylamino]-9-phenylcarbazol (Abkürzung: PCzDPA2), 4,4'-Bis(N-{4-[N'-(3-methylphenyl)-N'-phenylamino]phenyl}-N-phenylamino)biphenyl (Abkürzung: DNTPD), 3,6-Bis[N-(4-diphenylaminophenyl)-N-(1-naphthyl)amino]-9-phenylcarbazol (Abkürzung: PCzTPN2) und 3,6-Bis[N-(9-phenylcarbazol-3-yl)-N-phenylamino]-9-phenylcarbazol (Abkürzung: PCzPCA2).

[0080] Die vorliegende Erfindung ist jedoch nicht auf die zuvor genannten Beispiele für die zuvor beschriebene erste organische Verbindung **206** und zweite organische Verbindung **207** beschränkt. Die Kombination wird so gewählt, dass ein Exciplex gebildet werden kann, das Emissionsspektrum des Exciplex überlappt mit dem Absorptionsspektrum der phosphoreszierenden Verbindung **205**, und der Peak des Emissionsspektrums des Exciplex hat eine längere Wellenlänge als der Peak des Absorptionsspektrums der phosphoreszierenden Verbindung **205**.

[0081] Wenn eine Verbindung, die Elektronen aufnehmen kann, und eine Verbindung, die Löcher aufnehmen kann, für die erste organische Verbindung **206** und die zweite organische Verbindung **207** verwendet werden, dann kann das Gleichgewicht der Ladungsträger über das Mischungsverhältnis der Verbindungen eingestellt werden. Das Verhältnis von erster organischer Verbindung zu zweiter organischer Verbindung beträgt bevorzugt 1:9 bis 9:1.

[0082] In dem lichtemittierenden Element, das in dieser Ausführungsform beschrieben wird, kann die Effizienz der Energieübertragung verbessert werden, wenn ein Emissionsspektrum eines Exciplex mit einem Absorptionsspektrum einer phosphoreszierenden Verbindung überlappt; folglich kann ein lichtemittierendes Element mit einer hohen externen Quanteneffizienz erhalten werden.

[0083] In einer anderen Struktur der vorliegenden Erfindung kann die lichtemittierende Schicht **204** gebildet werden, indem ein Wirtsmolekül mit Locheinfangeigenschaften und ein Wirtsmolekül mit Elektroneneinfangeigenschaften als die zwei Arten von organischen Verbindungen, die nicht der phosphoreszierenden Verbindung **205** (Gastmaterial) entsprechen, verwendet werden, so dass das GCCH (guest coupled with complementary hosts)-Phänomen auftritt, bei dem Löcher und Elektronen in Gastmoleküle eingebracht werden, die in den zwei Arten von Wirtsmolekülen vorliegen, und die Gastmoleküle werden in einen angeregten Zustand überführt.

[0084] Das Wirtsmolekül mit Locheinfangeigenschaften und das Wirtsmolekül mit Elektroneneinfangeigenschaften können jeweils aus den zuvor beschriebenen Verbindungen, die Löcher aufnehmen können, und den zuvor beschriebenen Verbindungen, die Elektronen aufnehmen können, ausgewählt werden.

[0085] Das lichtemittierende Element, das in dieser Ausführungsform beschrieben wurde, ist ein Beispiel für eine mögliche Struktur eines lichtemittierenden Elements; es ist jedoch auch möglich, ein lichtemittierendes Element mit einer anderen Struktur, die in einer anderen Ausführungsform beschrieben wird, in einer lichtemittierenden Vorrichtung entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zu verwenden. Eine lichtemittierende Vorrichtung, die das zuvor beschriebene lichtemittierende Element enthält, kann eine lichtemittierende passiv-Matrix-Vorrichtung oder eine lichtemittierende aktiv-Matrix-Vorrichtung sein. Es kann ebenfalls eine lichtemittierende Vorrichtung mit einer Mikrohohlraum-Struktur hergestellt werden, die ein lichtemittierendes Element enthält, das nicht den zuvor beschriebenen lichtemittierenden Elementen entspricht; diese Struktur wird in einer anderen Ausführungsform beschrieben. Jede der zuvor beschriebenen lichtemittierenden Vorrichtungen ist eine erfindungsgemäße Vorrichtung.

[0086] Wenn eine lichtemittierende aktiv-Matrix-Vorrichtung hergestellt wird, dann ist die Struktur des TFT nicht auf eine bestimmte Struktur beschränkt. Es kann beispielsweise ein geschichteter TFT oder ein invertiert geschichteter TFT verwendet werden. Eine Treiberschaltung, die über einem TFT-Substrat gebildet wird, kann sowohl mit n-Kanal-TFTs als auch mit p-Kanal-TFTs gebildet werden, oder sie kann entweder mit n-Kanal-TFTs oder mit p-Kanal-TFTs gebildet werden. Die Kristallinität eines Halbleiterfilms, der für den TFT verwendet wird, ist ebenfalls nicht beschränkt. Es kann beispielsweise ein amorpher Halbleiterfilm, ein kristalliner Halbleiterfilm oder ein oxidischer Halbleiterfilm oder dergleichen verwendet werden.

[0087] Die Struktur, die in dieser Ausführungsform beschrieben wurde, kann gegebenenfalls mit jeder der Strukturen, die in den anderen Ausführungsformen beschrieben werden, kombiniert werden.

(Ausführungsform 4)

[0088] In dieser Ausführungsform, die eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, wird ein lichtemittierendes Element (im Folgenden als „lichtemittierendes Tandem-Element“) beschrieben, in dem eine ladungsträgererzeugende Schicht zwischen einer Vielzahl von EL Schichten angeordnet ist.

[0089] Ein lichtemittierendes Element, das in dieser Ausführungsform beschrieben wird, ist ein lichtemittierendes Tandem-Element, das mehrere EL Schichten (eine erste EL Schicht 302(1) und eine zweite EL Schicht 302(2)) zwischen einem Paar von Elektroden (einer ersten Elektrode **301** und einer zweiten Elektrode **304**) umfasst, wie in der **Fig. 3A** gezeigt.

[0090] In dieser Ausführungsform dient die erste Elektrode **301** als Anode, und die zweite Elektrode **304** dient als Kathode. Die erste Elektrode **301** und die zweite Elektrode **304** können Strukturen haben, die ähnlich den Strukturen sind, die in der Ausführungsform 2 beschrieben wurden. Obwohl die mehreren EL Schichten (die erste EL Schicht 302(1) und die zweite EL Schicht 302(2)) eine Struktur haben können, die ähnlich der der EL Schicht ist, die in der Ausführungsform 2 oder 3 beschrieben wurde, kann jede der EL Schichten eine Struktur haben, die ähnlich der der EL Schicht ist, die in der Ausführungsform 2 oder 3 beschrieben wurde. Mit anderen Worten, die Strukturen der ersten EL Schicht 302(1) und der zweiten EL Schicht 302(2) können gleich oder verschieden sein und können ähnlich der Struktur der EL Schicht sein, die in der Ausführungsform 2 oder 3 beschrieben wurde.

[0091] Zwischen den mehreren EL Schichten (der ersten EL Schicht 302(1) und der zweiten EL Schicht 302(2)) ist eine ladungsträgererzeugende Schicht (I) 305 angeordnet. Die ladungsträgererzeugende Schicht (I) 305 injiziert Elektronen in eine der EL Schichten und Löcher in die andere der EL Schichten, wenn eine Spannung zwischen der ersten Elektrode **301** und der zweiten Elektrode **304** angelegt wird. Wenn in dieser Ausführungsform eine Spannung angelegt wird, so dass das Potential der ersten Elektrode **301** höher als das der zweiten Elektrode **304** ist, dann injiziert die ladungsträgererzeugende Schicht (I) 305 Elektronen in die erste EL Schicht 302(1) und Löcher in die zweite EL Schicht 302(2).

[0092] Die ladungsträgererzeugende Schicht (I) 305 ist bevorzugt lichtdurchlässig für sichtbares Licht (die ladungsträgererzeugende Schicht (I) 305 hat bevorzugt eine Lichtdurchlässigkeit für sichtbares Licht von 40% oder mehr), damit das Licht gut ausgekoppelt werden kann. Die ladungsträgererzeugende Schicht (I) 305 funktioniert selbst dann, wenn sie eine geringere Leitfähigkeit als die erste Elektrode **301** oder die zweite Elektrode **304** hat.

[0093] Die ladungsträgererzeugende Schicht (I) 305 kann entweder eine Struktur haben, in der ein Elektronenakzeptor (Akzeptor) zu einer organischen Verbindung mit guten Lochtransporteigenschaften gegeben wird, oder eine Struktur, in der ein Elektronendonator (Donor) zu einer organischen Verbindung mit guten Elektronentransporteigenschaften gegeben wird. Alternativ können beide Strukturen übereinander geschichtet werden.

[0094] Im Fall der Struktur, in der ein Elektronenakzeptor zu einer organischen Verbindung mit guten Lochtransporteigenschaften gegeben wird, kann als organische Verbindung mit guten Lochtransporteigenschaften zum Beispiel ein aromatisches Amin, wie beispielsweise NPB, TPD, TDATA, MTDATA oder 4,4'-Bis[N-(spiro-9,9'-bifluoren-2-yl)-N-phenylamino]biphenyl (Abkürzung: BSPB), oder dergleichen verwendet werden. Die hier genannten Substanzen sind hauptsächlich solche mit einer Lochbeweglichkeit von 10^{-6} cm²/Vs oder mehr. Es kann jedoch auch jede andere Substanz verwendet werden, vorausgesetzt, dass die Lochtransporteigenschaften besser als die Elektronentransporteigenschaften der organischen Verbindung sind.

[0095] Als Elektronenakzeptor kann 7,7,8,8-Tetracyano-2,3,5,6-tetrafluorchinodimethan (Abkürzung: F₄-TCNQ), Chloranil oder dergleichen verwendet werden. Alternativ kann ein Übergangsmetalloxid verwendet werden. Es kann ebenfalls ein Oxid eines Metalls der Gruppen 4 bis 8 des Periodensystems verwendet werden. Vanadiumoxid, Nioboxid, Tantaloxid, Chromoxid, Molybdänoxid, Wolframoxid, Manganoxid und Rheniumoxid werden bevorzugt verwendet, weil sie gute Elektronenakzeptoreigenschaften haben. Molybdänoxid wird besonders bevorzugt verwendet, weil es luftbeständig und nur wenig hygroskopisch ist und leicht gehandhabt werden kann.

[0096] Im Fall der Struktur, in der ein Elektronendonator zu einer organischen Verbindung mit guten Elektronentransporteigenschaften gegeben wird, kann als organische Verbindung mit guten Elektronentransporteigenschaften zum Beispiel ein Metallkomplex mit einem Chinolingrundgerüst oder einem Benzochinolingrundgerüst, wie beispielsweise Alq, Almq₃, BeBq₂ oder BAq, oder dergleichen verwendet werden. Alternativ kann ein

Metallkomplex mit einem Liganden vom Oxazol-Typ oder einem Liganden vom Thiazol-Typ verwendet werden, wie beispielsweise $\text{Zn}(\text{BOX})_2$ oder $\text{Zn}(\text{BTZ})_2$. Anstelle eines Metallkomplexes kann auch PBD, OXD-7, TAZ, Bphen, BCP oder dergleichen verwendet werden. Die hier genannten Substanzen sind hauptsächlich solche mit einer Elektronenbeweglichkeit von $10^{-6} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ oder mehr. Es kann jedoch auch jede andere Substanz verwendet werden, vorausgesetzt, dass die Elektronentransporteigenschaften besser als die Lochtransporteigenschaften der organischen Verbindung sind.

[0097] Als Elektronendonator kann ein Alkalimetall, ein Erdalkalimetall, ein Seltenerdmetall, ein Metall der Gruppe 2 oder 13 des Periodensystems, oder ein Oxid oder Carbonat davon verwendet werden. Lithium (Li), Cäsium (Cs), Magnesium (Mg), Calcium (Ca), Ytterbium (Yb), Indium (In), Lithiumoxid, Cäsiumcarbonat oder dergleichen werden bevorzugt verwendet. Alternativ kann eine organische Verbindung, wie zum Beispiel Tetra-thianaphthacen, als Elektronendonator verwendet werden.

[0098] Wenn die ladungsträgererzeugende Schicht (I) 305 unter Verwendung eines der zuvor beschriebenen Materialien hergestellt wird, dann kann ein Anstieg der Betriebsspannung, verursacht durch das Übereinanderschichten der EL Schichten, unterdrückt werden.

[0099] In dieser Ausführungsform wurde ein lichtemittierendes Element mit zwei EL Schichten beschrieben, aber die vorliegende Erfindung kann auch auf ein lichtemittierendes Element angewandt werden, in dem n EL Schichten (302(1) bis 302(n)) (n ist 3 oder mehr) übereinander geschichtet sind, wie in der **Fig. 3B** gezeigt. Wenn in dem lichtemittierenden Element entsprechend dieser Ausführungsform mehrere EL Schichten zwischen einem Paar von Elektroden angeordnet sind und zwischen den EL Schichten ladungsträgererzeugende Schichten (I) (305(1) bis 305(n-1)) angeordnet sind, dann kann eine Lichtemission mit einer hohen Leuchtdichte bei geringer Stromdichte erhalten werden. Da die Stromdichte gering gehalten werden kann, kann das Element eine lange Lebensdauer haben. Bei der Anwendung in Beleuchtungsvorrichtungen kann weiterhin ein Spannungsabfall, bedingt durch den Widerstand eines Elektrodenmaterials, reduziert werden, so dass eine homogene Lichtemission in einer großen Fläche möglich ist. Es kann ebenfalls eine lichtemittierende Vorrichtung mit einem geringen Stromverbrauch, die mit einer niedrigen Spannung betrieben werden kann, erhalten werden.

[0100] Wenn die EL Schichten so hergestellt werden, dass sie Licht mit unterschiedlichen Farben emittieren, dann kann ein lichtemittierendes Element erhalten werden, das Licht mit der gewünschten Gesamtfarbe emittiert. Wenn zum Beispiel ein lichtemittierendes Element mit zwei EL Schichten hergestellt wird, so dass die Emissionsfarbe der ersten EL Schicht und die Emissionsfarbe der zweiten EL Schicht Komplementärfarben sind, dann kann das lichtemittierende Element ein Gesamtlicht mit weißer Farbe emittieren. Der Begriff „Komplementärfarbe“ bedeutet eine Farbbeziehung, in der eine achromatische Farbe erhalten wird, wenn Farben miteinander vermischt werden. Mit anderen Worten, wenn Licht aus einer lichtemittierenden Substanz und Licht mit einer Komplementärfarbe miteinander vermischt werden, dann kann eine Emission von weißem Licht erhalten werden.

[0101] Das gleiche gilt für ein lichtemittierendes Element mit drei EL Schichten. Das lichtemittierende Element kann beispielsweise Licht mit der Gesamtfarbe Weiß emittieren, wenn die Emissionsfarbe der ersten EL Schicht Rot ist, die Emissionsfarbe der zweiten EL Schicht Grün ist und die Emissionsfarbe der dritten EL Schicht Blau ist.

[0102] Die Struktur, die in dieser Ausführungsform beschrieben wurde, kann gegebenenfalls mit jeder der Strukturen, die in den anderen Ausführungsformen beschrieben werden, kombiniert werden.

(Ausführungsform 5)

[0103] In dieser Ausführungsform wird eine lichtemittierende Vorrichtung beschrieben, die einen phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplex verwendet und die eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen lichtemittierenden Vorrichtung ist, die Phosphoreszenz emittiert.

[0104] Eine lichtemittierende Vorrichtung, die in dieser Ausführungsform beschrieben wird, hat eine Struktur eines optischen Mikroresonators (microcavity), in der ein Lichtresonanzeffekt zwischen einem Paar von Elektroden ausgenutzt wird. Die lichtemittierende Vorrichtung umfasst mehrere lichtemittierende Elemente, die jeweils mindestens eine EL Schicht **405** enthalten, zwischen einem Paar von Elektroden (einer reflektierenden Elektrode **401** und einer halbdurchlässigen und halbreflektierenden Elektrode **402**), wie in der **Fig. 4** gezeigt. Die EL Schicht **405** umfasst mindestens lichtemittierende Schichten **404** (404R, 404G und 404B), die als lichtemittierender Bereich dienen, und kann weiterhin eine Lochinjektionsschicht, eine Lochtransportschicht, eine

Elektronentransportschicht, eine Elektroneninjektionsschicht, eine ladungsträgererzeugende Schicht (E) und dergleichen umfassen. Die lichtemittierende Schicht **404** enthält den phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplex, der eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist.

[0105] In dieser Ausführungsform wird eine lichtemittierende Vorrichtung beschrieben, die lichtemittierende Elemente (ein erstes lichtemittierendes Element (R) 410R, ein zweites lichtemittierendes Element (G) 410G und ein drittes lichtemittierendes Element (B) 410B) mit unterschiedlichen Strukturen umfasst, wie in der **Fig. 4** gezeigt.

[0106] Das erste lichtemittierende Element (R) 410R hat eine Struktur, in der eine erste lichtdurchlässige leitfähige Schicht **403a**; eine EL Schicht **405**, die teilweise eine erste lichtemittierende Schicht (B) 404B, eine zweite lichtemittierende Schicht (G) 404G und eine dritte lichtemittierende Schicht (R) 404R umfasst; und eine halbdurchlässige und halbreflektierende Elektrode **402** nacheinander über eine reflektierende Elektrode **401** geschichtet sind. Das zweite lichtemittierende Element (G) 410G hat eine Struktur, in der eine zweite lichtdurchlässige leitfähige Schicht **403b**, die EL Schicht **405** und die halbdurchlässige und halbreflektierende Elektrode **402** nacheinander über die reflektierende Elektrode **401** geschichtet sind. Das dritte lichtemittierende Element (B) 410B hat eine Struktur, in der die EL Schicht **405** und die halbdurchlässige und halbreflektierende Elektrode **402** nacheinander über die reflektierende Elektrode **401** geschichtet sind.

[0107] Die reflektierende Elektrode **401**, die EL Schicht **405** und die halbdurchlässige und halbreflektierende Elektrode **402** in den lichtemittierenden Elementen (in dem ersten lichtemittierenden Element (R) 410R, dem zweiten lichtemittierenden Element (G) 410G und dem dritten lichtemittierenden Element (B) 410B) sind gleich. Die erste lichtemittierende Schicht (B) 404B emittiert Licht (λ_B) mit einem Peak in einem Wellenlängenbereich von 420 nm bis 480 nm. Die zweite lichtemittierende Schicht (G) 404G emittiert Licht (λ_G) mit einem Peak in einem Wellenlängenbereich von 500 nm bis 550 nm. Die dritte lichtemittierende Schicht (R) 404R emittiert Licht (λ_R) mit einem Peak in einem Wellenlängenbereich von 600 nm bis 760 nm. In jedem der lichtemittierenden Elemente (in dem ersten lichtemittierenden Element (R) 410R, dem zweiten lichtemittierenden Element (G) 410G und dem dritten lichtemittierenden Element (B) 410B) überlappen das Licht, das von der ersten lichtemittierenden Schicht (B) 404B emittiert wird, das Licht, das von der zweiten lichtemittierenden Schicht (G) 404G emittiert wird, und das Licht, das von der dritten lichtemittierenden Schicht (R) 404R emittiert wird; auf diese Weise kann Licht mit einem breiten Emissionsspektrum, das den Bereich des sichtbaren Lichts abdeckt, emittiert werden. Die zuvor genannten Wellenlängen erfüllen die Bedingung $\lambda_B < \lambda_G < \lambda_R$.

[0108] Jedes der lichtemittierenden Elemente, die in dieser Ausführungsform beschrieben werden, hat eine Struktur, in der die EL Schicht **405** zwischen der reflektierenden Elektrode **401** und der halbdurchlässigen und halbreflektierenden Elektrode **402** angeordnet ist. Das Licht, das aus den lichtemittierenden Schichten in der EL Schicht **405** in alle Richtungen emittiert wird, wird durch die reflektierende Elektrode **401** und die halbdurchlässige und halbreflektierende Elektrode **402**, die als optischer Mikroresonator (microcavity) dienen, in Resonanz gebracht. Die reflektierende Elektrode **401** wird unter Verwendung eines Materials hergestellt, das leitfähig ist und Licht reflektiert, und ein Film, der sichtbares Licht zu 40% bis 100% und bevorzugt zu 70% bis 100% reflektiert und der einen Widerstand von $1 \times 10^{-2} \Omega \text{cm}$ oder weniger hat, wird bevorzugt verwendet. Die halbdurchlässige und halbreflektierende Elektrode **402** wird unter Verwendung eines leitfähigen Materials, das Licht reflektiert, und eines leitfähigen Materials, das lichtdurchlässig ist, hergestellt, und ein Film, der sichtbares Licht zu 20% bis 80% und bevorzugt zu 40% bis 70% reflektiert und der einen Widerstand von $1 \times 10^{-2} \Omega \text{cm}$ oder weniger hat, wird bevorzugt verwendet.

[0109] In dieser Ausführungsform sind die Dicken der lichtdurchlässigen leitfähigen Schichten (der ersten lichtdurchlässigen leitfähigen Schicht **403a** und der zweiten lichtdurchlässigen leitfähigen Schicht **403b**), die jeweils in dem ersten lichtemittierenden Element (R) 410R und dem zweiten lichtemittierenden Element (G) 410G enthalten sind, unterschiedlich, so dass die Länge des optischen Pfads von der reflektierenden Elektrode **401** zur halbdurchlässigen und halbreflektierenden Elektrode **402** in beiden lichtemittierenden Elementen unterschiedlich ist. Mit anderen Worten, in einem Licht mit einem breiten Emissionsspektrum, das von den lichtemittierenden Schichten eines jeden der lichtemittierenden Elemente emittiert wird, kann Licht mit einer Wellenlänge, die zwischen der reflektierenden Elektrode **401** und der halbdurchlässigen und halbreflektierenden Elektrode **402** in Resonanz gebracht wird, verstärkt werden, während Licht mit einer Wellenlänge, die nicht zwischen den Elektroden in Resonanz gebracht wird, abgeschwächt werden kann. Wenn also die Länge des optischen Pfads von der reflektierenden Elektrode **401** zur halbdurchlässigen und halbreflektierenden Elektrode **402** in den Elementen unterschiedlich ist, dann kann Licht mit verschiedenen Wellenlängen ausgekoppelt werden.

[0110] Die gesamte Dicke von der reflektierenden Elektrode **401** zur halbdurchlässigen und halbreflektierenden Elektrode **402** in dem ersten lichtemittierenden Element (R) 410R beträgt $m\lambda_R/2$ (m ist eine natürliche Zahl); die gesamte Dicke von der reflektierenden Elektrode **401** zur halbdurchlässigen und halbreflektierenden Elektrode **402** in dem zweiten lichtemittierenden Element (G) 410G beträgt $m\lambda_G/2$ (m ist eine natürliche Zahl); und die gesamte Dicke von der reflektierenden Elektrode **401** zur halbdurchlässigen und halbreflektierenden Elektrode **402** in dem dritten lichtemittierenden Element (B) 410B beträgt $m\lambda_B/2$ (m ist eine natürliche Zahl).

[0111] Auf diese Weise wird das Licht (λ_R), das von der dritten lichtemittierenden Schicht (R) 404R in der EL Schicht **405** emittiert wird, hauptsächlich aus dem ersten lichtemittierenden Element (R) 410R ausgekoppelt, das Licht (λ_G), das von der zweiten lichtemittierenden Schicht (G) 404G in der EL Schicht **405** emittiert wird, wird hauptsächlich aus dem zweiten lichtemittierenden Element (G) 410G ausgekoppelt, und das Licht (λ_B), das von der ersten lichtemittierenden Schicht (B) 404B in der EL Schicht **405** emittiert wird, wird hauptsächlich aus dem dritten lichtemittierenden Element (B) 410B ausgekoppelt. Das Licht, das aus jedem der lichtemittierenden Elemente ausgekoppelt wurde, wird über die Seite der halbdurchlässigen und halbreflektierenden Elektrode **402** emittiert.

[0112] Die Gesamte Dicke von der reflektierenden Elektrode **401** zur halbdurchlässigen und halbreflektierenden Elektrode **402** kann der gesamten Dicke von einem reflektierenden Bereich in der reflektierenden Elektrode **401** bis zu einem reflektierenden Bereich in der halbdurchlässigen und halbreflektierenden Elektrode **402** entsprechen. Die Positionen der reflektierenden Bereiche in der reflektierenden Elektrode **401** und in der halbdurchlässigen und halbreflektierenden Elektrode **402** können jedoch nur schwer präzise bestimmt werden; deshalb wird davon ausgegangen, dass der zuvor beschriebene Effekt ausreichend erzielt werden kann, unabhängig davon, wo sich die reflektierenden Bereiche in der reflektierenden Elektrode **401** und in der halbdurchlässigen und halbreflektierenden Elektrode **402** befinden.

[0113] In dem ersten lichtemittierenden Element (R) 410R wird die Länge des optischen Pfads von der reflektierenden Elektrode **401** bis zur dritten lichtemittierenden Schicht (R) 404R auf die gewünschte Dicke ($(2m'+1)\lambda_R/4$, wobei m' eine natürliche Zahl ist) eingestellt; auf diese Weise kann das Licht, das von der dritten lichtemittierenden Schicht (R) 404R emittiert wird, verstärkt werden. Das Licht, das von der dritten lichtemittierenden Schicht (R) 404R emittiert wird und von der reflektierenden Elektrode **401** reflektiert wird (erstes reflektiertes Licht), interferiert mit dem Licht (erstes einfallendes Licht), das von der dritten lichtemittierenden Schicht (R) 404R kommt und direkt in die halbdurchlässige und halbreflektierende Elektrode **402** eintritt. Wenn deshalb die Länge des optischen Pfads von der reflektierenden Elektrode **401** bis zur dritten lichtemittierenden Schicht (R) 404R auf den gewünschten Wert $((2m'+1)\lambda_R/4$, wobei m' eine natürliche Zahl ist) eingestellt wird, dann können die Phasen des ersten reflektierten Lichts und des ersten einfallenden Lichts zueinander ausgerichtet werden und das Licht, das von der dritten lichtemittierenden Schicht (R) 404R emittiert wurde, kann verstärkt werden.

[0114] Die Länge des optischen Pfads von der reflektierenden Elektrode **401** bis zur dritten lichtemittierenden Schicht (R) 404R kann der Länge des optischen Pfads von einem reflektierenden Bereich in der reflektierenden Elektrode **401** bis zu einem lichtemittierenden Bereich in der dritten lichtemittierenden Schicht (R) 404R entsprechen. Die Positionen des reflektierenden Bereichs in der reflektierenden Elektrode **401** und des lichtemittierenden Bereichs in der dritten lichtemittierenden Schicht (R) 404R können jedoch nur schwer präzise bestimmt werden; deshalb wird davon ausgegangen, dass der zuvor beschriebene Effekt ausreichend erzielt werden kann, unabhängig davon, wo sich der reflektierende Bereich in der reflektierenden Elektrode **401** und der lichtemittierende Bereich in der dritten lichtemittierenden Schicht (R) 404R befinden.

[0115] In dem zweiten lichtemittierenden Element (G) 410G wird die Länge des optischen Pfads von der reflektierenden Elektrode **401** bis zur zweiten lichtemittierenden Schicht (G) 404G auf die gewünschte Dicke ($(2m''+1)\lambda_G/4$, wobei m'' eine natürliche Zahl ist) eingestellt; auf diese Weise kann das Licht, das von der zweiten lichtemittierenden Schicht (G) 404G emittiert wird, verstärkt werden. Das Licht, das von der zweiten lichtemittierenden Schicht (G) 404G emittiert wird und von der reflektierenden Elektrode **401** reflektiert wird (zweites reflektiertes Licht), interferiert mit dem Licht (zweites einfallendes Licht), das von der zweiten lichtemittierenden Schicht (G) 404G kommt und direkt in die halbdurchlässige und halbreflektierende Elektrode **402** eintritt. Wenn deshalb die Länge des optischen Pfads von der reflektierenden Elektrode **401** bis zur zweiten lichtemittierenden Schicht (G) 404G auf den gewünschten Wert $((2m''+1)\lambda_G/4$, wobei m'' eine natürliche Zahl ist) eingestellt wird, dann können die Phasen des zweiten reflektierten Lichts und des zweiten einfallenden Lichts zueinander ausgerichtet werden und das Licht, das von der zweiten lichtemittierenden Schicht (G) 404G emittiert wurde, kann verstärkt werden.

[0116] Die Länge des optischen Pfads von der reflektierenden Elektrode **401** bis zur zweiten lichtemittierenden Schicht (G) 404G kann der Länge des optischen Pfads von einem reflektierenden Bereich in der reflektierenden Elektrode **401** bis zu einem lichtemittierenden Bereich in der zweiten lichtemittierenden Schicht (G) 404G entsprechen. Die Positionen des reflektierenden Bereichs in der reflektierenden Elektrode **401** und des lichtemittierenden Bereichs in der zweiten lichtemittierenden Schicht (G) 404G können jedoch nur schwer präzise bestimmt werden; deshalb wird davon ausgegangen, dass der zuvor beschriebene Effekt ausreichend erzielt werden kann, unabhängig davon, wo sich der reflektierende Bereich in der reflektierenden Elektrode **401** und der lichtemittierende Bereich in der zweiten lichtemittierenden Schicht (G) 404G befinden.

[0117] In dem dritten lichtemittierenden Element (B) 410B wird die Länge des optischen Pfads von der reflektierenden Elektrode **401** bis zur ersten lichtemittierenden Schicht (B) 404B auf die gewünschte Dicke $((2m''+1)\lambda_B/4)$, wobei m'' eine natürliche Zahl ist) eingestellt; auf diese Weise kann das Licht, das von der ersten lichtemittierenden Schicht (B) 404B emittiert wird, verstärkt werden. Das Licht, das von der ersten lichtemittierenden Schicht (B) 404B emittiert wird und von der reflektierenden Elektrode **401** reflektiert wird (drittes reflektiertes Licht), interferiert mit dem Licht (drittes einfallendes Licht), das von der ersten lichtemittierenden Schicht (B) 404B kommt und direkt in die halbdurchlässige und halbreflektierende Elektrode **402** eintritt. Wenn deshalb die Länge des optischen Pfads von der reflektierenden Elektrode **401** bis zur ersten lichtemittierenden Schicht (B) 404B auf den gewünschten Wert $((2m''+1)\lambda_B/4)$, wobei m'' eine natürliche Zahl ist) eingestellt wird, dann können die Phasen des dritten reflektierten Lichts und des dritten einfallenden Lichts zueinander ausgerichtet werden und das Licht, das von der ersten lichtemittierenden Schicht (B) 404B emittiert wurde, kann verstärkt werden.

[0118] Die Länge des optischen Pfads von der reflektierenden Elektrode **401** bis zur ersten lichtemittierenden Schicht (B) 404B in dem dritten lichtemittierenden Element kann der Länge des optischen Pfads von einem reflektierenden Bereich in der reflektierenden Elektrode **401** bis zu einem lichtemittierenden Bereich in der ersten lichtemittierenden Schicht (B) 404B entsprechen. Die Positionen des reflektierenden Bereichs in der reflektierenden Elektrode **401** und des lichtemittierenden Bereichs in der ersten lichtemittierenden Schicht (B) 404B können jedoch nur schwer präzise bestimmt werden; deshalb wird davon ausgegangen, dass der zuvor beschriebene Effekt ausreichend erzielt werden kann, unabhängig davon, wo sich der reflektierende Bereich in der reflektierenden Elektrode **401** und der lichtemittierende Bereich in der ersten lichtemittierenden Schicht (B) 404B befinden.

[0119] Zuvor wurden lichtemittierende Elemente mit jeweils einer Struktur beschrieben, die eine Vielzahl von lichtemittierenden Schichten in der EL Schicht umfasst, aber die vorliegende Erfindung ist nicht auf solche Strukturen beschränkt; die zuvor beschriebenen Strukturen können beispielsweise mit der Struktur des lichtemittierenden Tandem-Elements kombiniert werden, das in der Ausführungsform 4 beschrieben wurde, so dass mehrere EL Schichten und eine dazwischen angeordnete ladungsträgererzeugende Schicht in einem lichtemittierenden Element angeordnet sind und jede der EL Schichten eine lichtemittierende Schicht oder mehrere lichtemittierende Schichten umfasst.

[0120] Die lichtemittierende Vorrichtung, die in dieser Ausführungsform beschrieben wurde, hat eine Hohlraum-Mikrostruktur (microcavity structure), in der Licht mit unterschiedlichen Wellenlängen entsprechend dem jeweiligen lichtemittierenden Element ausgekoppelt werden kann, selbst wenn die Elemente die gleiche EL Schicht enthalten, so dass es nicht erforderlich ist, lichtemittierende Elemente mit den Farben R, G und B zu bilden. Die zuvor beschriebene Struktur kann deshalb für ein Farbdisplay mit einer verbesserten Auflösung oder dergleichen verwendet werden. Zusätzlich kann die Emissionsintensität mit einer vorher festgelegten Wellenlänge in Richtung der Vorderseite erhöht werden, wodurch der Stromverbrauch verringert werden kann. Die zuvor beschriebene Struktur kann insbesondere für ein Farbdisplay (eine Bildanzeigevorrichtung) verwendet werden, das Bildpunkte (Pixel) mit drei oder mehr Farben enthält; sie kann jedoch auch für eine Beleuchtungsvorrichtung oder dergleichen verwendet werden.

(Ausführungsform 6)

[0121] In dieser Ausführungsform wird eine lichtemittierende Vorrichtung beschrieben, die ein lichtemittierendes Element umfasst, in dem der organometallische Komplex entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung für eine lichtemittierende Schicht verwendet wird.

[0122] Die lichtemittierende Vorrichtung kann entweder eine lichtemittierende passiv-Matrix-Vorrichtung oder eine lichtemittierende aktiv-Matrix-Vorrichtung sein. Jedes der lichtemittierenden Elemente, die in den anderen Ausführungsformen beschrieben wurden, kann in der lichtemittierenden Vorrichtung verwendet werden, die in dieser Ausführungsform beschrieben wird.

[0123] In dieser Ausführungsform wird eine lichtemittierende aktiv-Matrix-Vorrichtung mit Bezug auf die **Fig. 5A** und **Fig. 5B** beschrieben.

[0124] Die **Fig. 5A** ist eine schematische Draufsicht einer lichtemittierenden Vorrichtung und die **Fig. 5B** ist eine Querschnittsansicht entlang der Linie A-A' in der **Fig. 5A**. Die lichtemittierende aktiv-Matrix-Vorrichtung entsprechend dieser Ausführungsform umfasst einen Pixelbereich **502**, der auf einem Elementsubstrat **501** aufgebracht ist, einen Treiberschaltungsbereich (eine Source-Treiberschaltung) **503** und Treiberschaltungsbereiche (Gate-Treiberschaltungen) **504** (504a und 504b). Der Pixelbereich **502**, der Treiberschaltungsbereich **503** und die Treiberschaltungsbereiche **504** sind mit einem Versiegelungsmittel **505** zwischen dem Elementsubstrat **501** und dem Versiegelungssubstrat **506** versiegelt.

[0125] Über dem Elementsubstrat **501** ist zusätzlich ein Anschluss **507** angeordnet. Der Anschluss **507** ist vorgesehen, um einen externen Eingangsanschluss, über den ein Signal (beispielsweise ein Videosignal, ein Taktsignal, ein Startsignal oder ein Resetsignal) oder ein Potential von Außen übertragen wird, mit dem Treiberschaltungsbereich **503** und den Treiberschaltungsbereichen **504** zu verbinden. Hier ist ein Beispiel gezeigt, in dem eine flexible gedruckte Schaltung (FPC) **508** als externer Eingangsanschluss verwendet wird. Die FPC kann mit einer Leiterplatte (PWB) verbunden sein, obwohl hier nur die FPC gezeigt ist. Die lichtemittierende Vorrichtung in dieser Beschreibung umfasst nicht nur die lichtemittierende Vorrichtung als solche, sondern auch eine lichtemittierende Vorrichtung, die mit einer FPC oder einer PWB verbunden ist.

[0126] Im Folgenden wird die Querschnittsansicht mit Bezug auf die **Fig. 5B** beschrieben. Der Treiberschaltungsbereich und der Pixelbereich sind auf einem Elementsubstrat **501** aufgebracht; hier sind der Treiberschaltungsbereich **503**, der die Source-Treiberschaltung ist, und der Pixelbereich **402** dargestellt.

[0127] Der Treiberschaltungsbereich **503** in diesem Beispiel ist eine CMOS-Schaltung, die eine Kombination aus einem n-Kanal-TFT **509** und einem p-Kanal-TFT **510** ist. Die Schaltung, die in dem Treiberschaltungsbereich enthalten ist, kann jedoch aus verschiedensten CMOS-Schaltungen, PMOS-Schaltungen oder NMOS-Schaltungen gebildet werden. In dieser Ausführungsform wird eine integrierte Treiberschaltung beschrieben, in der eine Treiberschaltung auf dem Substrat angeordnet ist; die Treiberschaltung kann jedoch auch außerhalb des Substrats angeordnet sein.

[0128] Der Pixelbereich **502** enthält eine Vielzahl von Pixel mit jeweils einem TFT **511** zum Schalten, einem TFT **512** zur Stromsteuerung und einer ersten Elektrode (Anode) **513**, die elektrisch mit einem Anschluss (einer Source-Elektrode oder einer Drain-Elektrode) des TFT **512** zur Stromsteuerung verbunden ist. Ein Isolator **514** bedeckt die Endbereiche der ersten Elektrode (Anode) **513**. Der hier verwendete Isolator **514** wird unter Verwendung eines lichtempfindlichen (positiv-Typ) Acrylharzes gebildet.

[0129] Der Isolator **514** hat bevorzugt eine gekrümmte Oberfläche mit einer Krümmung in einem oberen Endbereich oder einem unteren Endbereich davon, um eine gute Abdeckung durch einen Film zu erreichen, der über den Isolator **514** geschichtet wird. Wenn beispielsweise ein lichtempfindliches (positiv-Typ) Acrylharz als Material für den Isolator **514** verwendet wird, dann ist es bevorzugt, dass der obere Endbereich des Isolators **514** eine gekrümmte Oberfläche mit einem Krümmungsradius (0,2 μm bis 3 μm) hat. Der Isolator **514** kann entweder unter Verwendung eines lichtempfindlichen (negativ-Typ) Harzes oder eines lichtempfindlichen (positiv-Typ) Harzes gebildet werden. Das Material des Isolators **514** ist nicht auf eine organische Verbindung beschränkt und es kann ebenfalls eine anorganische Verbindung, wie beispielsweise Siliciumoxid oder Siliciumoxynitrid, verwendet werden.

[0130] Eine EL Schicht **515** und eine zweite Elektrode (Kathode) **516** sind auf der ersten Elektrode (Anode) **513** angeordnet. Die EL Schicht **515** umfasst mindestens eine lichtemittierende Schicht, die den organometallischen Komplex entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung enthält. Die EL Schicht **515** kann gegebenenfalls, zusätzlich zu der lichtemittierenden Schicht, weiterhin eine Lochinjektionsschicht, eine Lochtransportschicht, eine Elektronentransportschicht, eine Elektroneninjectionsschicht, eine ladungsträgererzeugende Schicht und dergleichen umfassen.

[0131] Das lichtemittierende Element **517** umfasst eine Schichtstruktur aus der ersten Elektrode (Anode) **513**, der EL Schicht **515** und der zweiten Elektrode (Kathode) **516**. Für die erste Elektrode (Anode) **513**, die EL Schicht **515** und die zweite Elektrode (Kathode) **516** können die Materialien verwendet werden, die in der Ausführungsform 2 beschrieben wurden. Die zweite Elektrode (Kathode) **516** ist, obwohl hier nicht gezeigt, elektrisch mit der FPC **508** verbunden, die als externer Eingangsanschluss dient.

[0132] Obwohl die Querschnittsansicht der **Fig. 5B** nur ein lichtemittierendes Element **517** zeigt, sind eine Vielzahl von lichtemittierenden Elementen in Form einer Matrix in dem Pixelbereich **502** angeordnet. Lichtemittierende Elemente, die drei Arten von Licht (R, G und B) emittieren, werden jeweils in dem Pixelbereich **502** gebildet, wobei eine lichtemittierende Vorrichtung erhalten wird, die für ein Farbdisplay verwendet werden kann. Alternativ kann eine lichtemittierende Vorrichtung mit einer Kombination von Farbfiltern hergestellt werden, die für ein Farbdisplay verwendet werden kann.

[0133] Das Versiegelungssubstrat **506** ist über das Versiegelungsmaterial **505** mit dem Elementsubstrat **501** verbunden, so dass das lichtemittierende Element **517** in einem Raum **518**, der von dem Elementsubstrat **501**, dem Versiegelungssubstrat **506** und dem Versiegelungsmaterial **505** umschlossen wird, enthalten ist. Der Raum **518** kann mit einem Inertgas (wie zum Beispiel Stickstoff oder Argon) gefüllt werden, oder mit dem Versiegelungsmaterial **505**.

[0134] Ein Harz vom Epoxy-Typ wird bevorzugt für das Versiegelungsmaterial **505** verwendet. Es ist bevorzugt, dass solch ein Material möglichst undurchlässig für Feuchtigkeit oder Sauerstoff ist. Als Material für das Versiegelungssubstrat **506** kann ein Glassubstrat, ein Quarzsubstrat oder ein Kunststoffsubstrat, hergestellt aus glasfaserverstärkten Kunststoffen (FRP), Poly(vinylfluorid) (PVF), Polyester, Acrylharzen oder dergleichen, verwendet werden.

[0135] Auf die zuvor beschriebene Weise kann eine lichtemittierende aktiv-Matrix-Vorrichtung hergestellt werden.

[0136] Die Struktur, die in dieser Ausführungsform beschrieben wurde, kann gegebenenfalls mit jeder der Strukturen, die in den anderen Ausführungsformen beschrieben werden, kombiniert werden.

(Ausführungsform 7)

[0137] In dieser Ausführungsform werden, mit Bezug auf die **Fig. 6A** bis **Fig. 6D** und die **Fig. 7A** bis **Fig. 7C**, Beispiele für elektronische Vorrichtungen beschrieben, die unter Verwendung einer lichtemittierenden Vorrichtung hergestellt werden. Die lichtemittierenden Vorrichtungen enthalten den organometallischen Komplex, der eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist.

[0138] Beispiele für die elektronischen Vorrichtungen, die die lichtemittierende Vorrichtung umfassen, sind Fernsehgeräte (auch als „TV Geräte“ oder „Fernsehempfänger“ bezeichnet), Monitore für Computer oder dergleichen, Kameras, wie zum Beispiel Digitalkameras oder Digitalvideokameras, digitale Fotorahmen, Handys (auch als „tragbare Telefone“ oder „tragbare Telefongeräte“ bezeichnet), tragbare Spielgeräte, tragbare Info-Terminals, Audiowiedergabegeräte und große Spielgeräte, wie beispielsweise Pachinko-Geräte. Spezifische Beispiele für diese elektronischen Vorrichtungen sind in den **Fig. 6A** bis **Fig. 6D** gezeigt.

[0139] Die **Fig. 6A** zeigt ein Beispiel für ein Fernsehgerät. Das Fernsehgerät **7100** umfasst einen Bildschirmbereich **7103**, der in einem Gehäuse **7101** untergebracht ist. Der Bildschirmbereich **7103** kann Bilder anzeigen, und die lichtemittierende Vorrichtung kann für den Bildschirmbereich **7103** verwendet werden. Das hier gezeigte Gehäuse **7101** wird von einem Ständer **7105** getragen.

[0140] Das Fernsehgerät **7100** kann über einen Betätigungsschalter am Gehäuse **7101** oder über eine separate Fernbedienung **7110** gesteuert werden. Mit den Betätigungstasten **7109** der Fernbedienung **7110** können die Kanäle und die Lautstärke eingestellt werden, sowie die Qualität des Bildes, das im Bildschirmbereich **7103** angezeigt wird. Die Fernbedienung **7110** kann einen Displaybereich **7107** umfassen, auf dem die Daten angezeigt werden, die von der Fernbedienung **7110** übertragen werden.

[0141] Das Fernsehgerät **7100** umfasst einen Receiver, ein Modem oder dergleichen. Mit dem Receiver können allgemeine Fernsehsendungen empfangen werden. Wenn das Fernsehgerät **7100** über das Modem über ein Kabel oder kabellos mit einem Kommunikationsnetzwerk verbunden ist, dann können Daten in einer Richtung (von einem Sender zu einem Empfänger) oder in zwei Richtungen (zwischen einem Sender und einem Empfänger, zwischen Empfängern oder dergleichen) übertragen werden.

[0142] Die **Fig. 6B** zeigt einen Computer mit einem Hauptteil **7201**, einem Gehäuse **7202**, einem Bildschirmbereich **7203**, einer Tastatur **7204**, einem Anschluss **7205** für externe Geräte, einer Zeigevorrichtung **7206** und dergleichen. Dieser Computer wird hergestellt, indem die lichtemittierende Vorrichtung für den Bildschirmbereich **7203** verwendet wird.

[0143] Die **Fig. 6C** zeigt ein tragbares Spielgerät mit zwei Gehäusen, einem Gehäuse **7301** und einem Gehäuse **7302**, die über einen Verbindungsbereich **7303** miteinander verbunden sind, so dass das tragbare Spielgerät geöffnet oder zusammengeklappt werden kann. Ein Bildschirmbereich **7304** ist in dem Gehäuse **7301** untergebracht, und ein Bildschirmbereich **7305** ist in dem Gehäuse **7302** untergebracht. Das tragbare Spielgerät, das in der **Fig. 6C** gezeigt ist, umfasst weiterhin einen Lautsprecherbereich **7306**, einen Bereich **7307** zum Einbringen eines Aufzeichnungsmediums, eine LED Lampe **7308**, eine Eingabevorrichtung (eine Betätigungstaste **7309**, einen Verbindungsanschluss **7310**, einen Sensor **7311** (einen Sensor, mit dem man Kraft, Verschiebung, Position, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Winkelgeschwindigkeit, Drehfrequenz, Abstand, Licht, Flüssigkeit, Magnetismus, Temperatur, chemische Substanzen, Schall, Zeit, Härte, elektrische Felder, Strom, Spannung, elektrische Leistung, Strahlung, Fließgeschwindigkeit, Feuchtigkeit, Gradienten, Schwingungen, Gerüche oder Infrarotstrahlung messen kann) und ein Mikrofon **7312**), und dergleichen. Die Struktur des tragbaren Spielgeräts ist jedoch nicht auf die zuvor beschriebene Struktur beschränkt, vorausgesetzt, dass die lichtemittierende Vorrichtung in mindestens dem Bildschirmbereich **7304** oder dem Bildschirmbereich **7305**, oder in beiden Bereichen verwendet wird, und das tragbare Spielgerät kann gegebenenfalls weitere Zubehörteile umfassen. Das tragbare Spielgerät, das in der **Fig. 6C** gezeigt ist, kann ein Programm oder Daten, die in einem Speichermedium gespeichert sind, auslesen und auf dem Bildschirmbereich anzeigen, und es kann über kabellose Kommunikation Informationen mit einem anderen tragbaren Spielgerät austauschen. Das tragbare Spielgerät, das in der **Fig. 6C** gezeigt ist, kann eine Vielzahl von Funktionen umfassen, die nicht auf die zuvor beschriebenen Funktionen beschränkt sind.

[0144] Die **Fig. 6D** zeigt ein Beispiel für ein Handy. Das Handy **7400** umfasst einen Bildschirmbereich **7402**, der in einem Gehäuse **7401** untergebracht ist, Bedienungstasten **7403a** und **7403b**, einen Anschluss **7404** für externe Geräte, einen Lautsprecher **7405**, ein Mikrofon **7406** und dergleichen. Das Handy **7400** wird unter Verwendung der lichtemittierenden Vorrichtung für den Bildschirmbereich **7402** hergestellt.

[0145] Wenn der Bildschirmbereich **7402** des Handys **7400**, das in der **Fig. 6D** gezeigt ist, mit einem Finger oder dergleichen berührt wird, dann können Daten in das Handy **7400** eingegeben werden. Wenn der Bildschirmbereich **7402** mit einem Finger oder dergleichen berührt wird, können weitere Operationen durchgeführt werden, wie beispielsweise ein Anruf oder eine eMail.

[0146] Der Bildschirmbereich **7402** hat hauptsächlich drei Betriebsarten. Die erste Betriebsart ist ein Anzeigemodus, mit dem hauptsächlich Bilder angezeigt werden. Die zweite Betriebsart ist ein Eingabemodus, mit dem hauptsächlich Informationen, wie zum Beispiel Buchstaben, eingegeben werden. Die dritte Betriebsart ist ein Anzeige-und-Eingabemodus, bei dem der Anzeigemodus und der Eingabemodus miteinander kombiniert sind.

[0147] Bei einem Anruf oder bei einer eMail wird für den Bildschirmbereich **7402** ein Texteingabemodus gewählt, um hauptsächlich einen Text einzugeben, so dass der Text, der auf einem Bildschirm angezeigt wird, eingegeben werden kann. In diesem Fall ist es bevorzugt, dass eine Tastatur oder ein Zahlenfeld auf nahezu dem gesamten Bereich des Bildschirmbereichs **7402** angezeigt wird.

[0148] Wenn das Handy **7400** eine Detektionsvorrichtung mit einem Sensor zum Erfassen einer Neigung umfasst, wie beispielsweise ein Gyroskop oder einen Beschleunigungssensor, dann kann die Anzeige auf dem Bildschirm des Bildschirmbereichs **7402** automatisch entsprechend der Orientierung des Handys **7400** angepasst werden (je nachdem, ob das Handy bei der Aufnahme einer Landschaft oder bei einer Porträtaufnahme horizontal oder vertikal ausgerichtet ist).

[0149] Die Betriebsarten des Bildschirms können umgeschaltet werden, indem der Bildschirmbereich **7402** berührt wird oder indem die Bedienungstasten **7403a** des Gehäuses **7401** gedrückt werden. Alternativ können die Betriebsarten des Bildschirms in Abhängigkeit von der Art der Bilder, die auf dem Bildschirmbereich **7402** angezeigt werden, umgeschaltet werden. Wenn beispielsweise ein Signal für ein Bild, das auf dem Bildschirmbereich angezeigt wird, Daten von bewegten Bildern enthält, dann wird die Betriebsart des Bildschirms auf den Anzeigemodus umgeschaltet. Wenn das Signal Textdaten enthält, dann wird die Betriebsart des Bildschirms auf den Eingabemodus umgeschaltet.

[0150] Wenn im Eingabemodus ein Signal, das von einem optischen Sensor im Bildschirmbereich **7402** detektiert wird, erfasst wird und wenn während einer bestimmten Zeitdauer keine Berührungseingabe über den Bildschirmbereich **7402** erfolgt, dann kann der Bildschirmbetrieb so eingestellt werden, dass vom Eingabemodus in den Anzeigemodus umgeschaltet wird.

[0151] Der Bildschirmbereich **7402** kann als Bildsensor dienen. Wenn der Bildschirmbereich beispielsweise mit einer Hand, mit einem Finger oder dergleichen berührt wird, dann kann das Bild des Handabdrucks, des Fingerabdrucks oder dergleichen zur persönlichen Authentifizierung verwendet werden. Wenn eine Hintergrundbeleuchtung oder eine Lichtquelle, die nahes Infrarotlicht für den Bildschirmbereich emittiert, verwendet wird, dann kann ein Bild von einer Fingervene, einer Handvene oder dergleichen aufgenommen werden.

[0152] Die **Fig. 7A** und **Fig. 7B** zeigen ein Tablet-Terminal, das zusammengeklappt werden kann. Die **Fig. 7A** zeigt das Tablet-Terminal in geöffnetem Zustand. Das Tablet-Terminal umfasst ein Gehäuse **9630**, einen Bildschirmbereich **9631a**, einen Bildschirmbereich **9631b**, einen Schalter **9034** zum Umschalten des Bildschirmbetriebs, einen Schalter **9035** zum Einschalten, einen Schalter **9036** für den Stromsparmodus, eine Schließe **9033** und einen Bedienungsschalter **9038**. Das Tablet-Terminal wird hergestellt, indem die lichtemittierende Vorrichtung entweder für den Bildschirmbereich **9631a** oder den Bildschirmbereich **9631b**, oder für beide Bereiche verwendet wird.

[0153] Ein Teil des Bildschirmbereichs **9631a** kann ein Berührungsfeldbereich **9632a** sein, und es können Daten eingegeben werden, wenn das angezeigte Berührungsfeld **9637** berührt wird. In diesem Beispiel wird eine Struktur gezeigt, in der die eine Hälfte des Bildschirmbereichs **9631a** nur eine Anzeigefunktion hat und die andere Hälfte auch eine Berührungsfeldfunktion hat; der Bildschirmbereich **9631a** ist jedoch nicht auf diese Struktur beschränkt. Der ganze Bereich in dem Bildschirmbereich **9631a** kann eine Berührungsfeldfunktion haben. Der Bildschirmbereich **9631a** kann beispielsweise Tastatur-Tasten im gesamten Bereich anzeigen, so dass er als Berührungsfeld dient, und der Bildschirmbereich **9631b** kann als Bildanzeigevorrichtung verwendet werden.

[0154] Ein Teil des Bildschirmbereichs **9631b** kann, wie beim Bildschirmbereich **9631a**, ein Berührungsfeldbereich **9632b** sein. Wenn ein Bildschirmumschalter **9639**, der im Berührungsfeld angezeigt wird, mit einem Finger, einem Griffel oder dergleichen berührt wird, dann können Tastatur-Tasten auf dem Bildschirmbereich **9631b** angezeigt werden.

[0155] Die Berührungseingabe in dem Berührungsfeldbereich **9632a** und dem Berührungsfeldbereich **9632b** kann zeitgleich erfolgen.

[0156] Mit dem Umschalter **9034** für den Bildschirmbetrieb kann der Bildschirm beispielsweise zwischen Portraitmodus, Landschaftsmodus und dergleichen, und zwischen Monochromanzeige und Farbanzeige umgeschaltet werden. Über den Schalter **9036** für den Stromsparmodus kann die Helligkeit des Bildschirms in Abhängigkeit von externem Licht, das von einem optischen Sensor innerhalb des Tablet-Terminals erfasst wird, während der Verwendung des Tablet-Terminals gesteuert werden. Das Tablet-Terminal kann, zusätzlich zu dem optischen Sensor, eine andere Detektionsvorrichtung mit einem Sensor zum Erfassen einer Neigung, wie zum Beispiel ein Gyroskop, oder einen Beschleunigungssensor enthalten.

[0157] Die **Fig. 7A** zeigt ein Beispiel, in dem der Bildschirmbereich **9631a** und der Bildschirmbereich **9631b** die gleiche Bildschirmfläche haben; die Größe und die Bildwiedergabequalität des einen Bildschirmbereichs können sich jedoch von der Größe und der Bildwiedergabequalität des anderen Bildschirmbereichs unterscheiden. Es können beispielsweise Bilder mit einer höheren Auflösung auf einem der Bildschirmbereiche **9631a** und **9631b** angezeigt werden.

[0158] Die **Fig. 7B** zeigt das Tablet-Terminal in geschlossenem Zustand. Das Tablet-Terminal umfasst das Gehäuse **9630**, eine Solarzelle **9633**, eine Lade/Entlade-Steuerschaltung **9634**, eine Batterie **9635** und einen DC-DC-Wandler **9636**. In der **Fig. 7B** ist eine Struktur mit der Batterie **9635** und dem DC-DC-Wandler **9636** als ein Beispiel für die Lade/Entlade-Steuerschaltung **9634** gezeigt.

[0159] Da das Tablet-Terminal zusammengeklappt werden kann, kann das Gehäuse **9630** geschlossen werden, wenn das Tablet-Terminal nicht verwendet wird. Dadurch können der Bildschirmbereich **9631a** und der Bildschirmbereich **9631b** geschützt werden; auf diese Weise kann ein Tablet-Terminal erhalten werden, das sehr haltbar und zuverlässig ist und das über einen langen Zeitraum hinweg verwendet werden kann.

[0160] Das Tablet-Terminal, das in den **Fig. 7A** und **Fig. 7B** gezeigt ist, kann verschiedenste Arten von Daten (beispielsweise ein Standbild, ein bewegtes Bild oder ein Textbild) anzeigen, es kann einen Kalender, ein Datum, die Zeit oder dergleichen auf dem Bildschirmbereich anzeigen, es kann eine Berührungseingabefunktion haben, um Daten, die auf dem Bildschirmbereich angezeigt werden, zu verarbeiten oder zu korrigieren, es

kann unter Verwendung verschiedener Arten von Software (Programmen) Steuerungsfunktionen übernehmen, und dergleichen.

[0161] Die Solarzelle **9633**, die an der Oberfläche des Tablet-Terminals angeordnet ist, kann das Berührungsfeld, den Bildschirmbereich, einen Bereich zum Verarbeiten von Videosignalen, oder dergleichen mit Energie versorgen. Die Solarbatterie **9633** kann an einer Oberfläche oder an beiden Oberflächen des Gehäuses **9630** angebracht werden, so dass die Batterie **9635** effizient geladen werden kann. Wenn als Batterie **9635** eine Lithium-Ionen-Batterie verwendet wird, dann kann beispielsweise die Größe der Vorrichtung verringert werden.

[0162] Die Struktur und die Funktionsweise der Lade/Entlade-Steuerschaltung **9634**, die in der **Fig. 7B** gezeigt ist, werden mit Bezug auf das Blockdiagramm in der **Fig. 7C** beschrieben. Die Solarzelle **9633**, die Batterie **9635**, der DC-DC-Wandler **9636**, ein Wandler **9638**, die Schalter SW1 bis SW3, und der Bildschirmbereich **9631** sind in der **Fig. 7C** gezeigt, und die Batterie **9635**, der DC-DC-Wandler **9636**, der Wandler **9638** und die Schalter SW1 bis SW3 entsprechen der Lade/Entlade-Steuerschaltung **9634**, die in der **Fig. 7B** gezeigt ist.

[0163] Zuerst wird ein Beispiel für einen Betrieb beschrieben, bei dem externes Licht verwendet wird, um Energie mit der Solarzelle **9633** zu erzeugen. Die von der Solarzelle **9633** erzeugte Spannung wird mit dem DC-DC-Wandler **9636** verringert oder erhöht, so dass eine zum Laden der Batterie **9635** geeignete Spannung zur Verfügung steht. Wenn die Energie aus der Solarzelle **9633** für den Betrieb des Bildschirmbereichs **9631** verwendet wird, dann wird der Schalter SW1 eingeschaltet und die Spannung der Energie wird mit dem Wandler **9636** verringert oder erhöht, so dass die für den Bildschirmbereich **9631** erforderliche Spannung erhalten wird. Wenn der Bildschirmbereich **9631** nichts anzeigen soll, dann wird der Schalter SW1 ausgeschaltet und der Schalter SW2 wird eingeschaltet, so dass die Batterie **9635** geladen werden kann.

[0164] Die Solarzelle **9633** wurde hier als ein Beispiel für eine Vorrichtung zur Stromerzeugung beschrieben; die Batterie **9635** kann jedoch auch mit einer anderen Vorrichtung zur Stromerzeugung geladen werden, wie zum Beispiel mit einem piezoelektrischen Element oder mit einem thermoelektrischen Element (Peltier-Element). Die Batterie **9635** kann beispielsweise mit einem Energieübertragungsmodul geladen werden, das die Batterie kabellos (ohne Kontakt) durch Energieübertragung aufladen kann, oder mit einer anderen Ladevorrichtung, die in Kombination verwendet wird.

[0165] Die Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung sind jedoch nicht auf die elektronische Vorrichtung beschränkt, die in den **Fig. 7A** bis **Fig. 7C** gezeigt ist, solange der in dieser Ausführungsform beschriebene Bildschirmbereich verwendet wird.

[0166] Die elektronischen Vorrichtungen können erhalten werden, wenn die lichtemittierende Vorrichtung entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verwendet wird, wie zuvor beschrieben wurde. Die lichtemittierende Vorrichtung hat viele Anwendungsmöglichkeiten und kann in elektronischen Vorrichtungen für die unterschiedlichsten Anwendungsbereiche verwendet werden.

[0167] Die Struktur, die in dieser Ausführungsform beschrieben wurde, kann gegebenenfalls mit jeder der Strukturen, die in den anderen Ausführungsformen beschrieben werden, kombiniert werden.

(Ausführungsform 8)

[0168] In dieser Ausführungsform werden, mit Bezug auf die **Fig. 8**, Beispiele für Beleuchtungsvorrichtungen beschrieben, die eine lichtemittierende Vorrichtung mit dem organometallischen Komplex entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfassen.

[0169] Die **Fig. 8** zeigt ein Beispiel, in dem die lichtemittierende Vorrichtung als Innenbeleuchtungsvorrichtung **8001** verwendet wird. Da die lichtemittierende Vorrichtung eine große Fläche haben kann, kann sie als Beleuchtungsvorrichtung mit einer großen Fläche verwendet werden. Eine Beleuchtungsvorrichtung **8002**, in der ein lichtemittierender Bereich eine gekrümmte Oberfläche hat, kann ebenfalls erhalten werden, wenn ein Gehäuse mit einer gekrümmten Oberfläche verwendet wird. Das lichtemittierende Element, das in der lichtemittierenden Vorrichtung entsprechend dieser Ausführungsform enthalten ist, hat die Form eines dünnen Films, so dass die Form des Gehäuses beliebig gewählt werden kann. Deshalb kann die Form der Beleuchtungsvorrichtung auf verschiedenste Art und Weise gestaltet werden. Weiterhin kann eine Wand eines Raums mit einer großflächigen Beleuchtungsvorrichtung **8003** versehen werden.

[0170] Wenn die lichtemittierende Vorrichtung für einen Tisch verwendet wird und dabei als Tischoberfläche verwendet wird, dann kann eine Beleuchtungsvorrichtung **8004** erhalten werden, die die Funktion eines Tisches hat. Wenn die lichtemittierende Vorrichtung als Teil eines anderen Möbelstücks verwendet wird, dann kann eine Beleuchtungsvorrichtung erhalten werden, die die Funktion eines Möbelstücks hat.

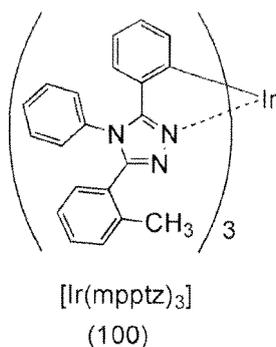
[0171] Auf diese Weise können verschiedenste Beleuchtungsvorrichtungen erhalten werden, die die lichtemittierende Vorrichtung enthalten. Alle diese Beleuchtungsvorrichtungen sind Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung.

[0172] Die Struktur, die in dieser Ausführungsform beschrieben wurde, kann gegebenenfalls mit jeder der Strukturen, die in den anderen Ausführungsformen beschrieben werden, kombiniert werden.

[Beispiel 1]

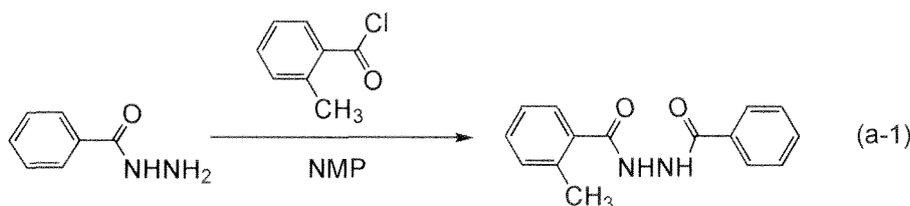
<<Synthesebeispiel 1>>

[0173] In diesem Beispiel wird ein Verfahren zum Herstellen des phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplexes Tris{2-[5-(2-methylphenyl)-4-phenyl-4H-1,2,4-triazol-3-yl-κN2]phenyl-xC}iridium(III) (Abkürzung: $[\text{Ir}(\text{mpptz})_3]$) beschrieben, der eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, dargestellt durch die Strukturformel (100) in der Ausführungsform 1. Die Struktur von $[\text{Ir}(\text{mpptz})_3]$ (Abkürzung) ist im Folgenden angegeben.



<Schritt 1: Herstellung von N-Benzoyl-N'-2-methylbenzoylhydrazid>

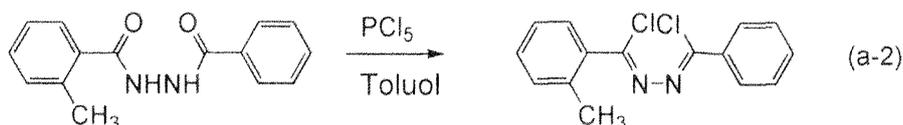
[0174] Zuerst wurden 15,0 g (110,0 mMol) Benzoylhydrazin und 75 ml N-Methyl-2-pyrrolidinon (NMP) in einen 300 ml Dreihalskolben gegeben und gerührt, und dabei mit Eis gekühlt. Zu dieser gemischten Lösung wurde langsam tropfenweise eine gemischte Lösung von 17,0 g (110,0 mMol) o-Toluoylchlorid und 15 ml N-Methyl-2-pyrrolidinon (NMP) gegeben. Nach der Zugabe wurde das Gemisch 24 Stunden lang bei Raumtemperatur gerührt. Nachdem die Umsetzung über einen vorher festgelegten Zeitraum durchgeführt worden war, wurde diese Reaktionslösung langsam zu 500 ml Wasser gegeben, wobei ein weißer Feststoff ausfiel. Der ausgefallene Feststoff wurde unter Anwendung von Ultraschall gereinigt, wobei abwechselnd Wasser und 1 M Salzsäure verwendet wurden. Dann wurde eine Ultraschallreinigung unter Verwendung von Hexan durchgeführt, wobei 19,5 g eines weißen Feststoffes von N-Benzoyl-N'-2-methylbenzoylhydrazid in einer Ausbeute von 70% erhalten wurden. Das Syntheschema von Schritt 1 ist in (a-1) angegeben.



<Schritt 2: Herstellung von [Chlor(2-methylphenyl)methanon][chlor(phenyl)methyliden]-hydrazon>

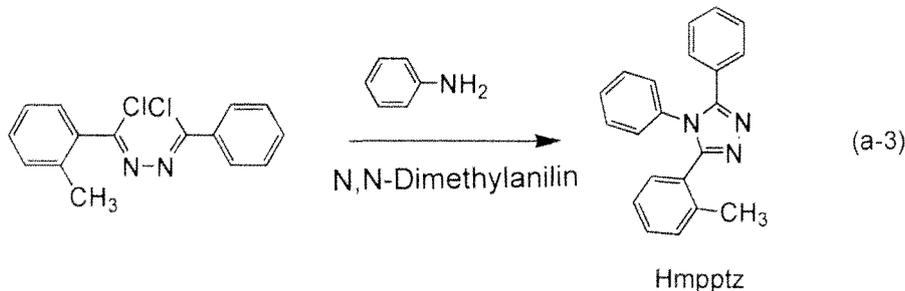
[0175] Dann wurden 12,0 g (47,2 mMol) N-Benzoyl-N'-2-methylbenzoylhydrazid, erhalten in Schritt 1, und 200 ml Toluol in einen 500 ml Dreihalskolben gegeben. Zu dieser gemischten Lösung wurden 19,4 g (94,4

mMol) Phosphorpentachlorid gegeben, und das Gemisch wurde 6 Stunden lang bei 120°C erwärmt und gerührt. Nachdem die Umsetzung über einen vorher festgelegten Zeitraum durchgeführt worden war, wurde die Reaktionslösung langsam in 200 ml Wasser gegossen, und das Gemisch wurde 1 Stunde lang gerührt. Nach dem Rühren wurden die organische Schicht und die wässrige Schicht getrennt, und die organische Schicht wurde mit Wasser und einer gesättigten wässrigen Lösung von Natriumhydrogencarbonat gewaschen. Nach dem Waschen wurde die organische Schicht mit wasserfreiem Magnesiumsulfat getrocknet. Das Magnesiumsulfat wurde unter dem Einfluss der Schwerkraft abfiltriert und aus diesem Gemisch entfernt, und das Filtrat wurde aufkonzentriert; auf diese Weise wurden 12,6 g einer braunen Flüssigkeit von [Chlor(2-methylphenyl)methanon][chlor(phenyl)methyliden]hydrazon in einer Ausbeute von 92% erhalten. Das Syntheschema von Schritt 2 ist in (a-2) angegeben.



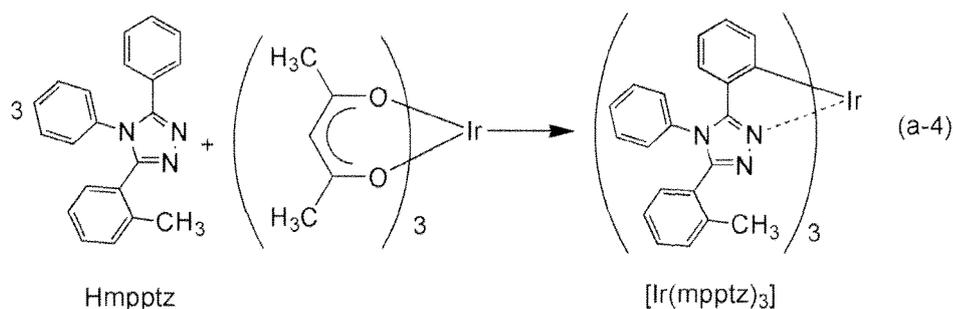
<Schritt 3: Herstellung von 3-(2-Methylphenyl)-4,5-diphenyl-4H-1,2,4-triazol (Abkürzung: Hmpptz)>

[0176] Dann wurden 5,1 g (17,6 mMol) [Chlor(2-methylphenyl)methanon][chlor(phenyl)methyliden]hydrazon, erhalten in Schritt 2, 60 ml Dimethylanilin und 4,9 g (52,8 mMol) Anilin in einen 500 ml Rückgewinnungskolben gegeben und 7 Stunden lang bei 120°C erwärmt und gerührt. Nach dem Rühren wurde die Reaktionslösung zu 1 N Salzsäure gegeben, und das Gemisch wurde 30 Minuten lang gerührt. Dann wurde die organische Schicht mit Dichlormethan extrahiert. Diese organische Schicht wurde mit einer gesättigten wässrigen Lösung von Natriumhydrogencarbonat und einer gesättigten Kochsalzlösung gewaschen. Dann wurde eine Reinigung mittels Säulenchromatographie durchgeführt. Ein gemischtes Lösungsmittel aus Toluol und Ethylacetat in einem Verhältnis von 1:1 wurde dabei als Laufmittel verwendet. Die erhaltene Fraktion wurde aufkonzentriert, wobei 3,4 g eines weißen Feststoffes von Hmpptz in einer Ausbeute von 63% erhalten wurden. Das Syntheschema von Schritt 3 ist in (a-3) angegeben.



<Schritt 4: Herstellung von Tris{2-[5-(2-methylphenyl)-4-phenyl-4H-1,2,4-triazol-3-yl-κN2]-phenyl-κC}iridium(III) (Abkürzung: [Ir(mpptz)₃])>

[0177] Dann wurden 2,9 g (9,3 mMol) Hmpptz, das der in Schritt 3 erhaltene Ligand war, und 1,6 g (3,1 mMol) Tris(acetylacetonato)iridium(III) in einen Behälter zum Erwärmen auf eine hohe Temperatur gegeben, und eine Entgasung wurde durchgeführt. Das Gemisch in dem Reaktionsbehälter wurde 48 Stunden lang unter einem Argonstrom bei 250°C erwärmt und gerührt. Nachdem die Umsetzung über einen vorher festgelegten Zeitraum durchgeführt worden war, wurde das Reaktionsgemisch in Dichlormethan gelöst und mittels Flash-Säulenchromatographie gereinigt. Ein gemischtes Lösungsmittel aus Dichlormethan und Ethylacetat in einem Verhältnis von 10:1 wurde dabei als Laufmittel verwendet. Die erhaltene Fraktion wurde aufkonzentriert und der erhaltene Feststoff wurde in Ethylacetat umkristallisiert, wobei 1,0 g eines grünen Pulvers von [Ir(mpptz)₃], das der organometallische Komplex entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, in einer Ausbeute von 29% erhalten wurden. Das Syntheschema von Schritt 4 ist in (a-4) angegeben.



[0178] Die Ergebnisse der Analyse des grünen Pulvers, das in Schritt 4 erhalten worden war, mittels Kernresonanzspektroskopie (¹H-NMR) sind im Folgenden angegeben. Die **Fig. 9** zeigt das ¹H-NMR Spektrum. Diese Ergebnisse zeigen, dass [Ir(mpptz)₃] (Abkürzung), das der organometallische Komplex entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, dargestellt durch die Strukturformel (100), in dem Synthesebeispiel 1 erhalten worden war.

[0179] ¹H-NMR. δ(CDCl₃): 1,98 (s, 3H), 6,46-6,48 (d, 1H), 6,57-6,61 (t, 1H), 6,79-6,82 (t, 1H), 6,98-7,02 (t, 1H), 7,05-7,07 (d, 1H), 7,12-7,17 (q, 3H), 7,23-7,32 (m, 3H), 7,38-7,40 (t, 2H).

[0180] Dann wurde [Ir(mpptz)₃] (Abkürzung) mittels UV-VIS-Absorptionsspektroskopie analysiert. Das Spektrum wurde mit einem UV-VIS-Spektrophotometer (Typ V550, hergestellt von Japan Spectroscopy Corporation) unter Verwendung einer Dichlormethanolösung (1,135 mMol/l) bei Raumtemperatur aufgenommen. Ein Emissionsspektrum von [Ir(mpptz)₃] (Abkürzung) wurde ebenfalls aufgenommen. Das Emissionsspektrum wurde mit einem Fluoreszenz-Spektrophotometer (FS920, hergestellt von Hamamatsu Photonics K. K.) unter Verwendung einer entgasteten Dichlormethanolösung (1,135 mMol/l) bei Raumtemperatur aufgenommen. Die **Fig. 10** zeigt die Messergebnisse. Die horizontale Achse entspricht der Wellenlänge, und die vertikalen Achsen entsprechen der Absorptionsintensität und der Emissionsintensität.

[0181] Die **Fig. 10** zeigt, dass [Ir(mpptz)₃] (Abkürzung), der phosphoreszierende organometallische Iridiumkomplex entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, einen Emissionspeak bei 512 nm zeigt, und aus der Dichlormethanolösung wurde eine Emission von grünem Licht beobachtet.

[0182] Das Tris{2-[5-(2-methylphenyl)-4-phenyl-4H-1,2,4-triazol-3-yl-kappaN2]phenyl-kappaC}iridium(III) (Abkürzung: [Ir(mpptz)₃]), das in diesem Beispiel erhalten worden war, wurde ebenfalls mittels Flüssigchromatographie/Massenspektrometrie (LC/MS) analysiert.

[0183] Die LC/MS-Analyse wurde mit den Geräten Acquity UPLC (hergestellt von Waters Corporation) und Xevo G2 ToF MS (hergestellt von Waters Corporation) durchgeführt.

[0184] Bei der MS-Analyse wurde die Ionisation unter Anwendung eines Elektrospray-Ionisations (ESI)-Verfahrens durchgeführt. Zu diesem Zeitpunkt wurden die Kapillarspannung und die Konusspannung (sample cone voltage) auf jeweils 3,0 kV und 30 V eingestellt, und die Detektion wurde im positiv-Modus durchgeführt. Ein Bestandteil mit m/z von 1124, der unter den zuvor beschriebenen Bedingungen ionisiert worden war, wurde in einer Kollisionszelle zur Kollision mit einem Argongas gebracht, so dass er in Produkt-Ionen dissoziierte. Die Energie (Kollisionsenergie) für die Kollision mit Argon betrug 50 eV. Der Massenbereich für die Messung war m/z = 30 bis 1300.

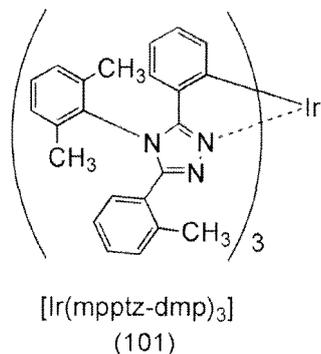
[0185] Die Ergebnisse der Detektion der dissoziierten Produkt-Ionen mittels Flugzeit (TOF)-MS sind in der **Fig. 35** gezeigt.

[0186] Die Ergebnisse in der **Fig. 35** zeigen, dass die Produkt-Ionen von [Ir(mpptz)₃] (Abkürzung), das der organometallische Iridiumkomplex entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, dargestellt durch die Strukturformel (100), hauptsächlich bei etwa m/z 813 und m/z 785 detektiert wurden. Die Ergebnisse in der **Fig. 35** zeigen Eigenschaften, die von [Ir(mpptz)₃] (Abkürzung) abgeleitet sind, und können deshalb als wichtige Daten verwendet werden, um [Ir(mpptz)₃] (Abkürzung) zu identifizieren, das in dem Gemisch enthalten ist.

[Beispiel 2]

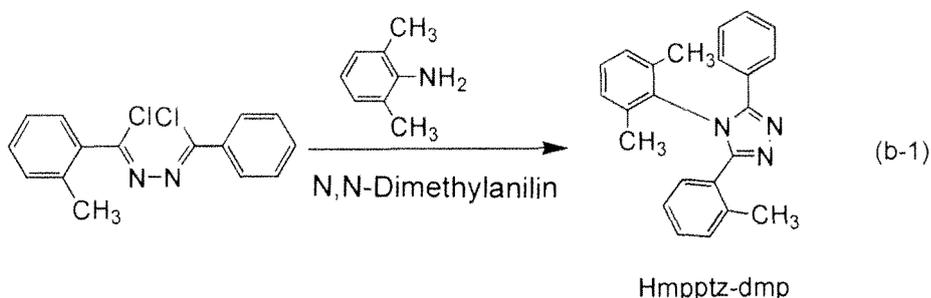
<<Synthesebeispiel 2>>

[0187] In diesem Beispiel wird ein Verfahren zum Herstellen des phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplexes Tris{2-[5-(2-methylphenyl)-4-(2,6-dimethylphenyl)-4H-1,2,4-triazol-3-yl-κN2]phenyl-κC}iridium (III) (Abkürzung: [Ir(mpptz-dmp)₃]) beschrieben, der eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, dargestellt durch die Strukturformel (101) in der Ausführungsform 1. Die Struktur von [Ir(mpptz-dmp)₃] (Abkürzung) ist im Folgenden angegeben.



<Schritt 1: Herstellung von 3-(2-Methylphenyl)-4-(2,6-dimethylphenyl)-5-phenyl-4H-1,2,4-triazol (Abkürzung: Hmpptz-dmp)>

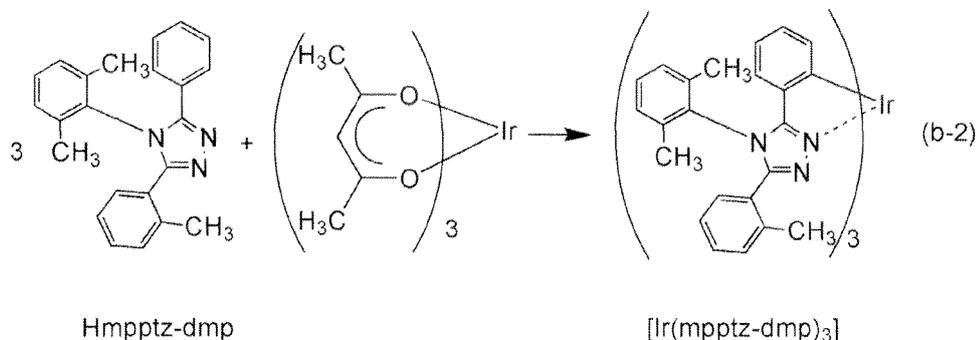
[0188] Zuerst wurden 12,6 g (43,3 mMol) [Chlor(2-methylphenyl)methanon][chlor(phenyl)methyliden]hydrazon, erhalten in Schritt 2 von Synthesebeispiel 1, 15,7 g (134,5 mMol) 2,6-Dimethylanilin und 100 ml N,N-Dimethylanilin in einen 500 ml Rückgewinnungskolben gegeben und 20 Stunden lang bei 120°C erwärmt und gerührt. Nachdem die Umsetzung über einen vorher festgelegten Zeitraum durchgeführt worden war, wurde diese Reaktionslösung langsam zu 200 ml 1 N Salzsäure gegeben. Dichlormethan wurde zu dieser Lösung gegeben, und die gewünschte Substanz wurde in die organische Schicht extrahiert. Die erhaltene organische Schicht wurde mit Wasser und einer wässrigen Lösung von Natriumhydrogencarbonat gewaschen, und dann mit Magnesiumsulfat getrocknet. Das Magnesiumsulfat wurde unter dem Einfluss der Schwerkraft abfiltriert und entfernt, und das erhaltene Filtrat wurde aufkonzentriert, wobei eine schwarze Flüssigkeit erhalten wurde. Diese Flüssigkeit wurde mittels Silicagel-Säulenchromatographie gereinigt. Ein gemischtes Lösungsmittel aus Ethylacetat und Hexan in einem Verhältnis von 1:5 wurde dabei als Laufmittel verwendet. Die erhaltene Fraktion wurde aufkonzentriert, wobei ein weißer Feststoff erhalten wurde. Dieser Feststoff wurde mit Ethylacetat umkristallisiert, wobei 4,5 g eines weißen Feststoffes von Hmpptz-dmp in einer Ausbeute von 31% erhalten wurden. Das Syntheschema von Schritt 1 ist in (b-1) angegeben.



<Schritt 2: Herstellung von Tris{2-[5-(2-methylphenyl)-4-(2,6-dimethylphenyl)-4H-1,2,4-triazol-3-yl-κN2]phenyl-κC}iridium(III) (Abkürzung: [Ir(mpptz-dmp)₃])>

[0189] Dann wurden 2,5 g (7,4 mMol) Hmpptz-dmp, das der in Schritt 1 erhaltene Ligand war, und 0,7 g (1,5 mMol) Tris(acetylacetonato)iridium(III) in einen Behälter zum Erwärmen auf eine hohe Temperatur gegeben, und eine Entgasung wurde durchgeführt. Das Gemisch in dem Reaktionsbehälter wurde 48 Stunden lang unter einem Argonstrom bei 250°C erwärmt und gerührt. Nachdem die Umsetzung über einen vorher festgelegten Zeitraum durchgeführt worden war, wurde der erhaltene Feststoff mit Dichlormethan gewaschen, und ein un-

löslicher grüner Feststoff wurde beim Filtrieren bei Unterdruck erhalten. Dieser Feststoff wurde in Toluol gelöst und durch eine Schichtanordnung aus Aluminiumoxid und Celite filtriert. Die erhaltene Fraktion wurde aufkonzentriert, wobei ein grüner Feststoff erhalten wurde. Dieser Feststoff wurde mit Toluol umkristallisiert, wobei 0,8 g eines grünen Pulvers von $[\text{Ir}(\text{mpptz-dmp})_3]$ (Abkürzung), das der phosphoreszierende organometallische Iridiumkomplex entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, in einer Ausbeute von 45% erhalten wurden. Das Syntheschema von Schritt 2 ist in (b-2) angegeben.



[0190] Die Ergebnisse der Analyse des grünen Pulvers, das in Schritt 2 erhalten worden war, mittels Kernresonanzspektroskopie ($^1\text{H-NMR}$) sind im Folgenden angegeben. Die **Fig. 11** zeigt das $^1\text{H-NMR}$ Spektrum. Diese Ergebnisse zeigen, dass $[\text{Ir}(\text{mpptz-dmp})_3]$ (Abkürzung), das der phosphoreszierende organometallische Iridiumkomplex entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, dargestellt durch die Strukturformel (101), in dem Synthesebeispiel 2 erhalten worden war.

[0191] $^1\text{H-NMR}$. δ (Toluol- d_8): 1,82 (s, 3H), 1,90 (s, 3H), 2,64 (s, 3H), 6,56-6,62 (m, 3H), 6,67-6,75 (m, 3H), 6,82-6,88 (m, 1H), 6,91-6,97 (t, 1H), 7,00-7,12 (m, 2H), 7,63-7,67 (d, 1H).

[0192] Dann wurde $[\text{Ir}(\text{mpptz-dmp})_3]$ (Abkürzung) mittels UV-VIS-Absorptionsspektroskopie analysiert. Das Spektrum wurde mit einem UV-VIS-Spektrophotometer (Typ V550, hergestellt von Japan Spectroscopy Corporation) unter Verwendung einer Toluollösung (0,845 mMol/l) bei Raumtemperatur aufgenommen. Ein Emissionsspektrum von $[\text{Ir}(\text{mpptz-dmp})_3]$ (Abkürzung) wurde ebenfalls aufgenommen. Das Emissionsspektrum wurde mit einem Fluoreszenz-Spektrophotometer (FS920, hergestellt von Hamamatsu Photonics K. K.) unter Verwendung einer entgasten Toluollösung (0,845 mMol/l) bei Raumtemperatur aufgenommen. Die **Fig. 12** zeigt die Messergebnisse. Die horizontale Achse entspricht der Wellenlänge, und die vertikalen Achsen entsprechen der Absorptionsintensität und der Emissionsintensität.

[0193] Die **Fig. 12** zeigt, dass $[\text{Ir}(\text{mpptz-dmp})_3]$ (Abkürzung), der phosphoreszierende organometallische Iridiumkomplex entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, Emissionspeaks bei 478 nm und 505 nm zeigt, und aus der Toluollösung wurde eine Emission von blau-grünem Licht beobachtet.

[0194] Das Tris[2-[5-(2-methylphenyl)-4-(2,6-dimethylphenyl)-4H-1,2,4-triazol-3-yl- κ^2]phenyl- κ^C]iridium(III) (Abkürzung: $[\text{Ir}(\text{mpptz-dmp})_3]$), das in diesem Beispiel erhalten worden war, wurde ebenfalls mittels Flüssigchromatographie/Massenspektrometrie (LC/MS) analysiert.

[0195] Die LC/MS-Analyse wurde mit den Geräten Acquity UPLC (hergestellt von Waters Corporation) und Xevo G2 ToF MS (hergestellt von Waters Corporation) durchgeführt.

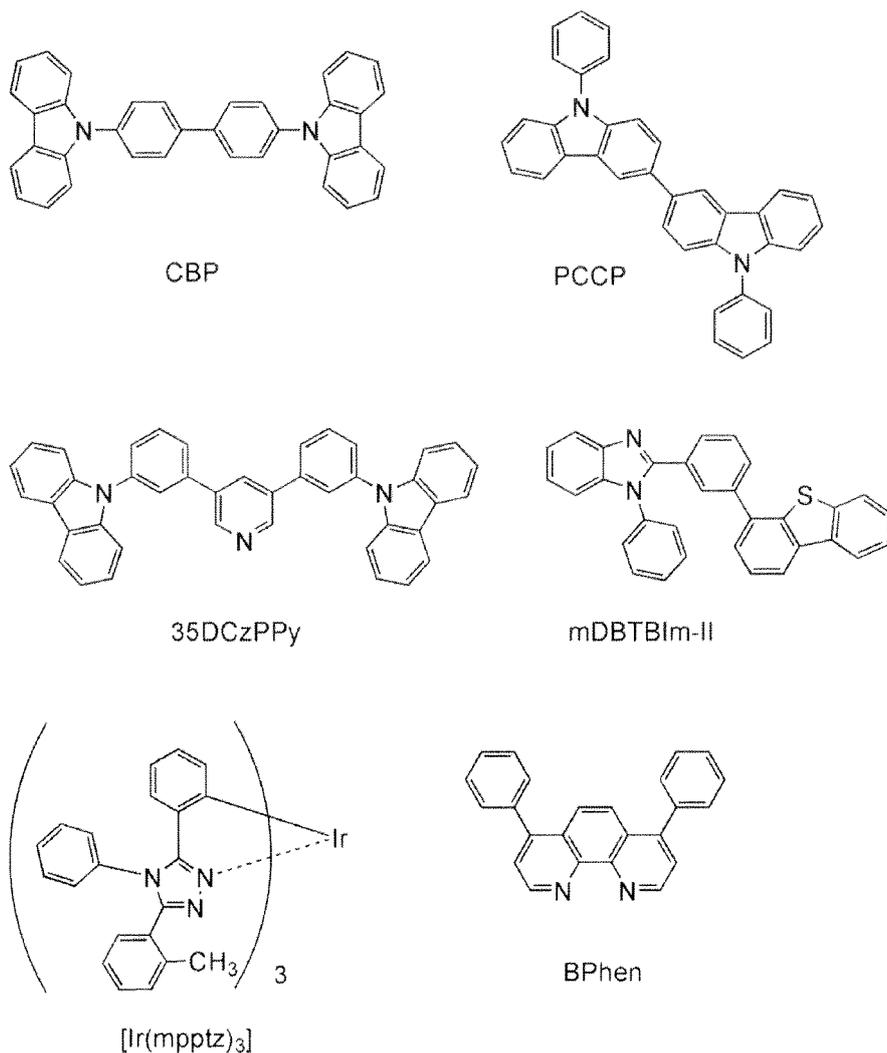
[0196] Bei der MS-Analyse wurde die Ionisation unter Anwendung eines Elektrospray-Ionisations (ESI)-Verfahrens durchgeführt. Zu diesem Zeitpunkt wurden die Kapillarspannung und die Konusspannung auf jeweils 3,0 kV und 30 V eingestellt, und die Detektion wurde im positiv-Modus durchgeführt. Ein Bestandteil mit m/z von 1208, der unter den zuvor beschriebenen Bedingungen ionisiert worden war, wurde in einer Kollisionszelle zur Kollision mit einem Argongas gebracht, so dass er in Produkt-Ionen dissoziierte. Die Energie (Kollisionsenergie) für die Kollision mit Argon betrug 50 eV. Der Massenbereich für die Messung war $m/z = 30$ bis 1300.

[0197] Die Ergebnisse der Detektion der dissoziierten Produkt-Ionen mittels Flugzeit (TOF)-MS sind in der **Fig. 36** gezeigt.

[0198] Die Ergebnisse in der **Fig. 36** zeigen, dass die Produkt-Ionen von $[\text{Ir}(\text{mpptz-dmp})_3]$ (Abkürzung), das der organometallische Iridiumkomplex entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, dargestellt durch die Strukturformel (101), hauptsächlich bei etwa m/z 869 und m/z 841 detektiert wurden. Die Ergebnisse in der **Fig. 36** zeigen Eigenschaften, die von $[\text{Ir}(\text{mpptz-dmp})_3]$ (Abkürzung) abgeleitet sind, und können deshalb als wichtige Daten verwendet werden, um $[\text{Ir}(\text{mpptz-dmp})_3]$ (Abkürzung) zu identifizieren, das in dem Gemisch enthalten ist.

[Beispiel 3]

[0199] In diesem Beispiel wird ein lichtemittierendes Element 1, in dem $\text{Tris}\{2-[5-(2\text{-methylphenyl})-4\text{-phenyl-}4\text{H-}1,2,4\text{-triazol-}3\text{-yl-xN}_2\text{]phenyl-}\kappa\text{C}\}$ iridium(III) (Abkürzung: $[\text{Ir}(\text{mpptz})_3]$), das der phosphoreszierende organometallische Iridiumkomplex ist, der durch die Strukturformel (100) dargestellt wird, für eine lichtemittierende Schicht verwendet wird, mit Bezug auf die **Fig. 13** beschrieben. Die chemischen Formeln der Materialien, die in diesem Beispiel verwendet werden, sind im Folgenden angegeben.



<<Herstellung des lichtemittierenden Elements 1>>

[0200] Zuerst wurde Indiumzinnoxid, enthaltend Siliciumoxid (ITSO), unter Anwendung eines Sputterverfahrens auf einem Glassubstrat **1100** aufgebracht, so dass eine erste Elektrode **1101**, die als Anode diente, gebildet wurde. Die Dicke betrug 110 nm und die Elektrodenfläche betrug 2 mm x 2 mm.

[0201] Dann wurde als Vorbehandlung für die Bildung des lichtemittierenden Elements auf dem Substrat **1100** eine UV-Ozonbehandlung über einen Zeitraum von 370 Sekunden durchgeführt, nachdem eine Oberfläche des Substrats mit Wasser gewaschen und das Substrat 1 Stunde lang bei 200°C erwärmt worden war.

[0202] Danach wurde das Substrat in eine Vakuumverdampfungsapparatur überführt, in der der Druck auf etwa 10^{-4} Pa verringert worden war, und in einer Heizkammer der Vakuumverdampfungsapparatur 30 Minuten lang im Vakuum bei 170°C erwärmt, und dann wurde das Substrat **1100** über einen Zeitraum von etwa 30 Minuten abgekühlt.

[0203] Dann wurde das Substrat **1100** an einer Haltevorrichtung in der Vakuumverdampfungsapparatur befestigt, so dass eine Oberfläche des Substrats **1100**, auf der die erste Elektrode **1101** aufgebracht worden war, nach unten ausgerichtet war. In diesem Beispiel wird ein Fall beschrieben, bei dem eine Lochinjektionsschicht **1111**, eine Lochtransportschicht **1112**, eine lichtemittierende Schicht **1113**, eine Elektronentransportschicht **1114** und eine Elektroneninjectionsschicht **1115**, die in der EL Schicht **1102** enthalten sind, nacheinander unter Anwendung eines Vakuumverdampfungsverfahrens aufgebracht werden.

[0204] Nachdem der Druck der Vakuumverdampfungsapparatur auf 10^{-4} Pa verringert worden war, wurden 4,4'-Di(N-carbazolyl)biphenyl (Abkürzung: CBP) und Molybdän(VI)oxid co-aufgedampft, wobei das Massenverhältnis von CBP (Abkürzung) zu Molybdänoxid 4:2 betrug, wobei die Lochinjektionsschicht **1111** auf der ersten Elektrode **1101** gebildet wurde. Die Dicke der Lochinjektionsschicht **1111** betrug 60 nm. Der Ausdruck „co-Aufdampfen“ bezieht sich auf ein Verdampfungsverfahren, bei dem unterschiedliche Substanzen aus unterschiedlichen Verdampfungsquellen gleichzeitig aufgedampft werden.

[0205] Dann wurde 9-Phenyl-9H-3-(9-phenyl-9H-carbazol-3-yl)carbazol (Abkürzung: PCCP) durch Aufdampfen in einer Dicke von 20 nm abgeschieden, wobei die Lochtransportschicht **1112** gebildet wurde.

[0206] Dann wurde die lichtemittierende Schicht **1113** auf der Lochtransportschicht **1112** wie folgt aufgebracht. Zuerst wurden 3,5-Bis[3-(9H-carbazol-9-yl)phenyl]pyridin (Abkürzung: 35DCzPPy), PCCP (Abkürzung) und Tris[2-[5-(2-methylphenyl)-4-phenyl-4H-1,2,4-triazol-3-yl- $\kappa\text{N}2$]phenyl- κC]iridium(III) (Abkürzung: [Ir(mpptz)₃]) durch co-Aufdampfen in einer Dicke von 30 nm abgeschieden, wobei das Massenverhältnis von 35DCzPPy (Abkürzung) zu PCCP (Abkürzung) und [Ir(mpptz)₃] (Abkürzung) 0,3:1:0,06 betrug. Danach wurden 35DCzPPy (Abkürzung) und [Ir(mpptz)₃] (Abkürzung) durch co-Aufdampfen in einer Dicke von 10 nm abgeschieden, wobei das Massenverhältnis von 35DCzPPy (Abkürzung) zu [Ir(mpptz)₃] (Abkürzung) 1:0,06 betrug. Auf diese Weise wurde die lichtemittierende Schicht **1113** mit einer Schichtstruktur gebildet.

[0207] Dann wurden auf der lichtemittierenden Schicht **1113** 2-[3-(Dibenzothiophen-4-yl)phenyl]-1-phenyl-1H-benzimidazol (Abkürzung: mDBTBI-m-II) und [Ir(mpptz)₃] (Abkürzung) durch co-Aufdampfen in einer Dicke von 10 nm abgeschieden, wobei das Massenverhältnis von mDBTBI-m-II (Abkürzung) zu [Ir(mpptz)₃] (Abkürzung) 1:0,06 betrug, und Bathophenanthrolin (Abkürzung: Bphen) wurde durch Aufdampfen in einer Dicke von 15 nm abgeschieden, wobei die Elektronentransportschicht **1114** mit einer Schichtstruktur gebildet wurde. Auf der Elektronentransportschicht **1114** wurde weiterhin Lithiumfluorid durch Aufdampfen in einer Dicke von 1 nm abgeschieden, wobei die Elektroneninjectionsschicht **1115** gebildet wurde.

[0208] Zuletzt wurde Aluminium durch Aufdampfen in einer Dicke von 200 nm auf der Elektroneninjectionsschicht **1115** abgeschieden, um eine zweite Elektrode **1103** zu bilden, die als Kathode diente; auf diese Weise wurde das lichtemittierende Element 1 erhalten. Bei allen zuvor genannten Verdampfungs-schritten wurde das Verdampfen durch Widerstandserwärmen durchgeführt.

[0209] Die Elementstruktur des lichtemittierenden Elements 1, das wie zuvor beschrieben erhalten worden war, ist in der Tabelle 1 angegeben.

[Tabelle 1]

	erste Elektrode	Lochinjektions-schicht	Loch-transport-schicht	lichte-mittie-rende Schicht	Elektronentrans-portschicht	Elektro-neninjekti-onsschicht	zweite Elektro-de
lichtemit-tierendes Element 1	ITSO (110 nm)	CBP:MoO _x (4:2 60 nm)	PCCP (20 nm)	*	**	Bphen (15 nm)	LiF (1 nm) Al (200 nm)

* 35DCzPPy : PCCP : [Ir(mpptz)₃] (0,3 : 1 : 0,06 30 nm) \ 35DCzPPy : [Ir(mpptz)₃] (1 : 0,06 10 nm)

** mDBTBI-m-II : [Ir(mpptz)₃] (1 : 0,06 10 nm)

[0210] Das hergestellte lichtemittierende Element 1 wurde dann in einer Glovebox, die eine Stickstoffatmosphäre enthielt, versiegelt, so dass es nicht mit der Luft in Kontakt kam (genauer gesagt, ein Versiegelungsmittel wurde auf die äußere Kante des Elements aufgebracht, und das Element wurde 1 Stunde lang bei 80°C erwärmt, um das Element zu versiegeln).

<<Betriebseigenschaften des lichtemittierenden Elements 1>>

[0211] Die Betriebseigenschaften des hergestellten lichtemittierenden Elements 1 wurden gemessen. Die Messungen wurden bei Raumtemperatur (unter einer Atmosphäre, in der die Temperatur bei 25°C gehalten wurde) durchgeführt.

[0212] Die **Fig. 14** zeigt die Beziehung Stromdichte-Leuchtdichte des lichtemittierenden Elements 1. In der **Fig. 14** gibt die vertikale Achse die Leuchtdichte (cd/m^2) an, und die horizontale Achse gibt die Stromdichte (mA/cm^2) an. Die **Fig. 15** zeigt die Beziehung Spannung-Leuchtdichte des lichtemittierenden Elements 1. In der **Fig. 15** gibt die vertikale Achse die Leuchtdichte (cd/m^2) an, und die horizontale Achse gibt die Spannung (V) an. Die **Fig. 16** zeigt die Beziehung Leuchtdichte-Stromausbeute des lichtemittierenden Elements 1. In der **Fig. 16** gibt die vertikale Achse die Stromausbeute (cd/A) an, und die horizontale Achse gibt die Leuchtdichte (cd/m^2) an. Die **Fig. 17** zeigt die Beziehung Spannung-Strom des lichtemittierenden Elements 1. In der **Fig. 17** gibt die vertikale Achse den Strom (mA) an, und die horizontale Achse gibt die Spannung (V) an. Die **Fig. 18** zeigt die Beziehung Leuchtdichte-Farbkoordinaten des lichtemittierenden Elements 1. In der **Fig. 18** gibt die vertikale Achse die Farbkoordinaten an, und die horizontale Achse gibt die Leuchtdichte (cd/m^2) an.

[0213] Die **Fig. 16** veranschaulicht die hohe Effizienz des lichtemittierenden Elements 1, in dem ein Teil der lichtemittierenden Schicht $[\text{Ir}(\text{mpptz})_3]$ (Abkürzung) verwendet, das der phosphoreszierende organometallische Iridiumkomplex entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist. Die Tabelle 2 zeigt die Anfangswerte der Haupteigenschaften des lichtemittierenden Elements 1 bei einer Leuchtdichte von etwa 1000 cd/m^2 .

[Tabelle 2]

	Spannung (V)	Strom (mA)	Stromdichte (mA/cm^2)	Farbkoordinaten (x, y)	Leuchtdichte (cd/m^2)	Stromausbeute (cd/A)	Energieeffizienz (lm/W)	Quanteneffizienz (%)
lichtemittierendes Element 1	5,4	0,081	2,0	(0,21, 0,43)	920	45	26	19

[0214] Die zuvor angegebenen Ergebnisse zeigen, dass das lichtemittierende Element 1, das in diesem Beispiel hergestellt wurde, ein lichtemittierendes Element mit einer hohen Leuchtdichte und einer hohen Stromausbeute ist. Es zeigte sich weiterhin, dass das lichtemittierende Element grünes Licht emittiert.

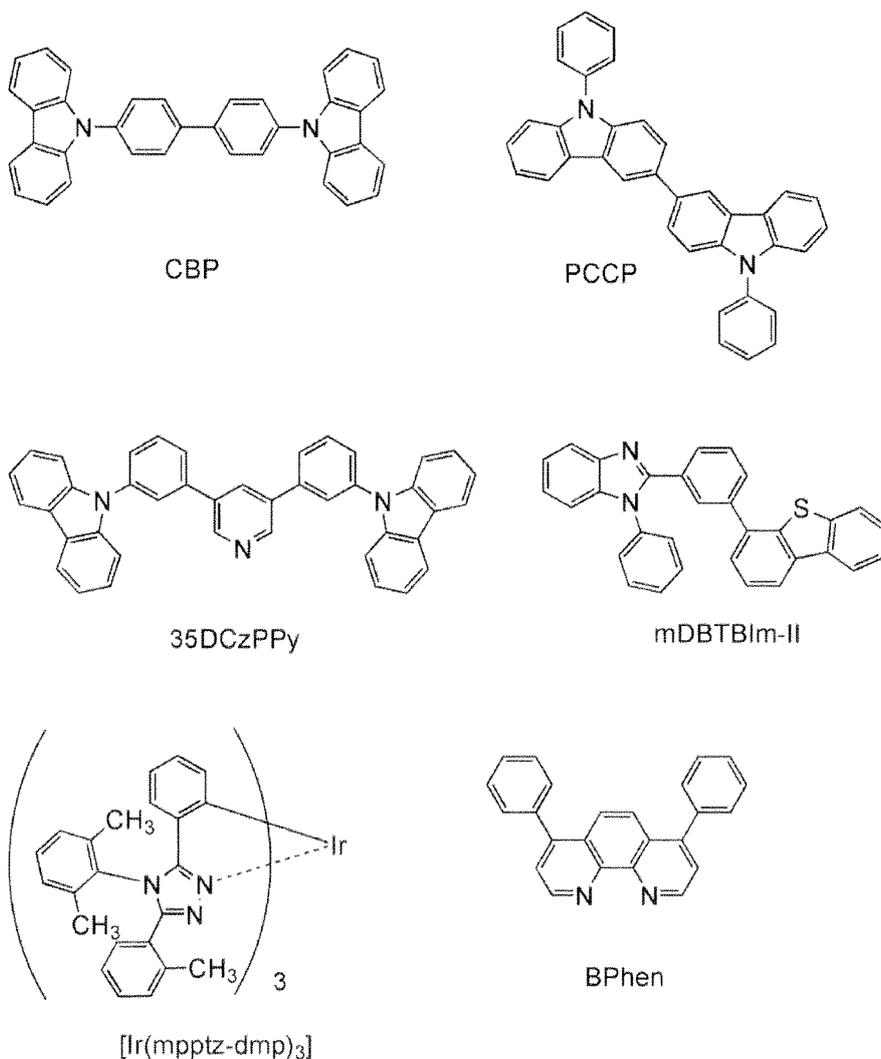
[0215] Die **Fig. 19** zeigt ein Emissionsspektrum, das erhalten wurde, wenn ein Strom bei einer Stromdichte von $0,1 \text{ mA/cm}^2$ an das lichtemittierende Element 1 angelegt wurde. Das Emissionsspektrum des lichtemittierenden Elements 1 hat, wie in der **Fig. 19** gezeigt, einen Peak bei 486 nm , und es wird davon ausgegangen, dass der Peak von einer Emission des phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplexes $[\text{Ir}(\text{mpptz})_3]$ (Abkürzung) stammt.

[0216] Das lichtemittierende Element 1 wurde einem Zuverlässigkeitstest unterworfen. Die Ergebnisse des Zuverlässigkeitstests sind in der **Fig. 20** gezeigt. In der **Fig. 20** gibt die vertikale Achse die normalisierte Leuchtdichte (%) an, wobei die ursprüngliche Anfangsleuchtdichte 100% beträgt, und die horizontale Achse gibt die Zeit (Stunden) an, während der das Element betrieben wurde. In dem Zuverlässigkeitstest wurde das lichtemittierende Element 1 so betrieben, dass die ursprüngliche Leuchtdichte 1000 cd/m^2 betrug und die Stromdichte konstant gehalten wurde. Das lichtemittierende Element 1 zeigte nach 100 Stunden noch etwa 66% der Anfangsleuchtdichte.

[0217] Der Zuverlässigkeitstest zeigte auf diese Weise die hohe Zuverlässigkeit des lichtemittierenden Elements 1. Zusätzlich wurde bestätigt, dass die Verwendung des phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplexes, der eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, zu einem lichtemittierenden Element mit einer langen Lebensdauer führt.

[Beispiel 4]

[0218] In diesem Beispiel wird ein lichtemittierendes Element 2 beschrieben, in dem Tris{2-[5-(2-methylphenyl)-4-(2,6-dimethylphenyl)-4H-1,2,4-triazol-3-yl-κN2]phenyl-κC} iridium(III) (Abkürzung: [Ir(mpptz-dmp)₃]), das der phosphoreszierende organometallische Iridiumkomplex ist, der durch die Strukturformel (**101**) dargestellt wird, für eine lichtemittierende Schicht verwendet wird. Bei der Beschreibung des lichtemittierenden Elements 2 in diesem Beispiel wird auf die **Fig. 13** Bezug genommen, auf die auch in der Beschreibung des lichtemittierenden Elements 1 in Beispiel 1 Bezug genommen wurde. Die chemischen Formeln der Materialien, die in diesem Beispiel verwendet werden, sind im Folgenden angegeben.



<<Herstellung des lichtemittierenden Elements 2>>

[0219] Zuerst wurde Indiumzinnoxid, enthaltend Siliciumoxid (ITSO), unter Anwendung eines Sputterverfahrens auf dem Glassubstrat **1100** aufgebracht, so dass die erste Elektrode **1101**, die als Anode diente, gebildet wurde. Die Dicke betrug 110 nm und die Elektrodenfläche betrug 2 mm x 2 mm.

[0220] Dann wurde als Vorbehandlung für die Bildung des lichtemittierenden Elements auf dem Substrat **1100** eine UV-Ozonbehandlung über einen Zeitraum von 370 Sekunden durchgeführt, nachdem eine Oberfläche des Substrats mit Wasser gewaschen und das Substrat 1 Stunde lang bei 200°C erwärmt worden war.

[0221] Danach wurde das Substrat in eine Vakuumverdampfungsapparatur überführt, in der der Druck auf etwa 10⁻⁴ Pa verringert worden war, und in einer Heizkammer der Vakuumverdampfungsapparatur 30 Minuten lang im Vakuum bei 170°C erwärmt, und dann wurde das Substrat **1100** über einen Zeitraum von etwa 30 Minuten abgekühlt.

[0222] Dann wurde das Substrat **1100** an einer Haltevorrichtung in der Vakuumaufdampfungsapparatur befestigt, so dass eine Oberfläche des Substrats **1100**, auf der die erste Elektrode **1101** aufgebracht worden war, nach unten ausgerichtet war. In diesem Beispiel wird ein Fall beschrieben, bei dem die Lochinjektionsschicht **1111**, die Lochtransportschicht **1112**, die lichtemittierende Schicht **1113**, die Elektronentransportschicht **1114** und die Elektroneninjectionsschicht **1115**, die in der EL Schicht **1102** enthalten sind, nacheinander unter Anwendung eines Vakuumaufdampfungsverfahrens aufgebracht werden.

[0223] Nachdem der Druck der Vakuumaufdampfungsapparatur auf 10^{-4} Pa verringert worden war, wurden 4,4'-Di(N-carbazolyl)biphenyl (Abkürzung: CBP) und Molybdän(VI)oxid co-aufgedampft, wobei das Massenverhältnis von CBP (Abkürzung) zu Molybdänoxid 4:2 betrug, wobei die Lochinjektionsschicht **1111** auf der ersten Elektrode **1101** gebildet wurde. Die Dicke der Lochinjektionsschicht **1111** betrug 60 nm. Der Ausdruck „co-Aufdampfen“ bezeichnet ein Aufdampfungsverfahren, bei dem unterschiedliche Substanzen aus unterschiedlichen Verdampfungsquellen gleichzeitig aufgedampft werden.

[0224] Dann wurde 9-Phenyl-9H-3-(9-phenyl-9H-carbazol-3-yl)carbazol (Abkürzung: PCCP) durch Aufdampfen in einer Dicke von 20 nm abgeschieden, wobei die Lochtransportschicht **1112** gebildet wurde.

[0225] Dann wurde die lichtemittierende Schicht **1113** auf der Lochtransportschicht **1112** wie folgt aufgebracht. Zuerst wurden 3,5-Bis[3-(9H-carbazol-9-yl)phenyl]pyridin (Abkürzung: 35DCzPPy), PCCP (Abkürzung) und Tris{2-[5-(2-methylphenyl)-4-(2,6-dimethylphenyl)-4H-1,2,4-triazol-3-yl-κN2]phenyl-κC}iridium(III) (Abkürzung: [Ir(mpptz-dmp)₃]) durch co-Aufdampfen in einer Dicke von 30 nm abgeschieden, wobei das Massenverhältnis von 35DCzPPy (Abkürzung) zu PCCP (Abkürzung) und [Ir(mpptz-dmp)₃] (Abkürzung) 0,3:1:0,06 betrug. Danach wurden 35DCzPPy (Abkürzung) und [Ir(mpptz-dmp)₃] (Abkürzung) durch co-Aufdampfen in einer Dicke von 10 nm abgeschieden, wobei das Massenverhältnis von 35DCzPPy (Abkürzung) zu [Ir(mpptz-dmp)₃] (Abkürzung) 1:0,06 betrug. Auf diese Weise wurde die lichtemittierende Schicht **1113** mit einer Schichtstruktur gebildet.

[0226] Dann wurden auf der lichtemittierenden Schicht **1113** 2-[3-(Dibenzothiophen-4-yl)phenyl]-1-phenyl-1H-benzimidazol (Abkürzung: mDBTBlm-II) und [Ir(mpptz-dmp)₃] (Abkürzung) durch co-Aufdampfen in einer Dicke von 10 nm abgeschieden, wobei das Massenverhältnis von mDBTBlm-II (Abkürzung) zu [Ir(mpptz-dmp)₃] (Abkürzung) 1:0,06 betrug, und Bathophenanthrolin (Abkürzung: Bphen) wurde durch Aufdampfen in einer Dicke von 15 nm abgeschieden, wobei die Elektronentransportschicht **1114** mit einer Schichtstruktur gebildet wurde. Auf der Elektronentransportschicht **1114** wurde weiterhin Lithiumfluorid durch Aufdampfen in einer Dicke von 1 nm abgeschieden, wobei die Elektroneninjectionsschicht **1115** gebildet wurde.

[0227] Zuletzt wurde Aluminium durch Aufdampfen in einer Dicke von 200 nm auf der Elektroneninjectionsschicht **1115** abgeschieden, um eine zweite Elektrode **1103** zu bilden, die als Kathode diente; auf diese Weise wurde das lichtemittierende Element 2 erhalten. Bei allen zuvor genannten AufdampfungsSchritten wurde das Verdampfen durch Widerstandserwärmen durchgeführt.

[0228] Die Elementstruktur des lichtemittierenden Elements 2, das wie zuvor beschrieben erhalten worden war, ist in der Tabelle 3 angegeben.

[Tabelle 3]

	erste Elektrode	Lochinjektionsschicht	Lochtransportschicht	lichtemittierende Schicht	Elektronentransportschicht		Elektroneninjectionsschicht	zweite Elektrode
lichtemittierendes Element 2	ITSO (110 nm)	CBP:MoO _x (4:260 nm)	PCCP (20 nm)	*	**	Bphen (15 nm)	LiF (1 nm)	Al (200 nm)

* 35DCzPPy : PCCP : [Ir(mpptz-dmp)₃] (0,3 : 1 : 0,06 30 nm) \ 35DCzPPy : [Ir(mpptz-dmp)₃] (1 : 0,06 10 nm)

** mDBTBlm-II : [Ir(mpptz-dmp)₃] (1 : 0,06 10 nm)

[0229] Das hergestellte lichtemittierende Element 2 wurde dann in einer Glovebox, die eine Stickstoffatmosphäre enthielt, versiegelt, so dass es nicht mit der Luft in Kontakt kam (genauer gesagt, ein Versiegelungs-

mittel wurde auf die äußere Kante des Elements aufgebracht, und das Element wurde 1 Stunde lang bei 80°C erwärmt, um das Element zu versiegeln).

<<Betriebseigenschaften des lichtemittierenden Elements 2>>

[0230] Die Betriebseigenschaften des hergestellten lichtemittierenden Elements 2 wurden gemessen. Die Messungen wurden bei Raumtemperatur (unter einer Atmosphäre, in der die Temperatur bei 25°C gehalten wurde) durchgeführt.

[0231] Die **Fig. 21** zeigt die Beziehung Stromdichte-Leuchtdichte des lichtemittierenden Elements 2. In der **Fig. 21** gibt die vertikale Achse die Leuchtdichte (cd/m^2) an, und die horizontale Achse gibt die Stromdichte (mA/cm^2) an. Die **Fig. 22** zeigt die Beziehung Spannung-Leuchtdichte des lichtemittierenden Elements 2. In der **Fig. 22** gibt die vertikale Achse die Leuchtdichte (cd/m^2) an, und die horizontale Achse gibt die Spannung (V) an. Die **Fig. 23** zeigt die Beziehung Leuchtdichte-Stromausbeute des lichtemittierenden Elements 2. In der **Fig. 23** gibt die vertikale Achse die Stromausbeute (cd/A) an, und die horizontale Achse gibt die Leuchtdichte (cd/m^2) an. Die **Fig. 24** zeigt die Beziehung Spannung-Strom des lichtemittierenden Elements 2. In der **Fig. 24** gibt die vertikale Achse den Strom (mA) an, und die horizontale Achse gibt die Spannung (V) an. Die **Fig. 25** zeigt die Beziehung Leuchtdichte-Farbkoordinaten des lichtemittierenden Elements 2. In der **Fig. 25** gibt die vertikale Achse die Farbkoordinaten an, und die horizontale Achse gibt die Leuchtdichte (cd/m^2) an.

[0232] Die **Fig. 23** veranschaulicht die hohe Effizienz des lichtemittierenden Elements 2, in dem ein Teil der lichtemittierenden Schicht $[\text{Ir}(\text{mpptz-dmp})_3]$ (Abkürzung) verwendet, das der phosphoreszierende organometallische Iridiumkomplex entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist. Die Tabelle 4 zeigt die Anfangswerte der Haupteigenschaften des lichtemittierenden Elements 2 bei einer Leuchtdichte von etwa 1000 cd/m^2 .

[Tabelle 4]

	Spannung (V)	Strom (mA)	Stromdichte (mA/cm^2)	Farbkoordinaten (x, y)	Leuchtdichte (cd/m^2)	Stromausbeute (cd/A)	Energieeffizienz (lm/W)	Quanteneffizienz (%)
lichtemittierendes Element 2	5,4	0,08	2,0	(0,21, 0,40)	920	46	27	20

[0233] Die zuvor angegebenen Ergebnisse zeigen, dass das lichtemittierende Element 2, das in diesem Beispiel hergestellt wurde, ein lichtemittierendes Element mit einer hohen Leuchtdichte und einer hohen Stromausbeute ist. Bezüglich der Farbreinheit zeigte sich weiterhin, dass das lichtemittierende Element blau-grünes Licht mit einer hohen Farbreinheit emittiert.

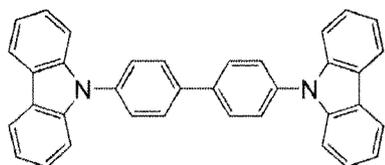
[0234] Die **Fig. 26** zeigt ein Emissionsspektrum, das erhalten wurde, wenn ein Strom bei einer Stromdichte von $0,1 \text{ mA/cm}^2$ an das lichtemittierende Element 2 angelegt wurde. Das Emissionsspektrum des lichtemittierenden Elements 2 hat, wie in der **Fig. 26** gezeigt, einen Peak bei 479 nm , und es wird davon ausgegangen, dass der Peak von einer Emission des phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplexes $[\text{Ir}(\text{mpptz-dmp})_3]$ (Abkürzung) stammt.

[0235] Das lichtemittierende Element 2 wurde einem Zuverlässigkeitstest unterworfen. Die Ergebnisse des Zuverlässigkeitstests sind in der **Fig. 27** gezeigt. In der **Fig. 27** gibt die vertikale Achse die normalisierte Leuchtdichte (%) an, wobei die ursprüngliche Anfangsleuchtdichte 100% beträgt, und die horizontale Achse gibt die Zeit (Stunden) an, während der das Element betrieben wurde. In dem Zuverlässigkeitstest wurde das lichtemittierende Element 2 so betrieben, dass die ursprüngliche Leuchtdichte 1000 cd/m^2 betrug und die Stromdichte konstant gehalten wurde. Das lichtemittierende Element 2 zeigte nach 100 Stunden noch etwa 70% der Anfangsleuchtdichte.

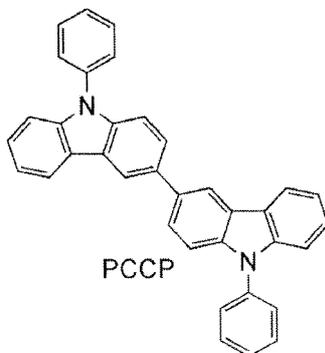
[0236] Der Zuverlässigkeitstest zeigte auf diese Weise die hohe Zuverlässigkeit des lichtemittierenden Elements 2. Zusätzlich wurde bestätigt, dass die Verwendung des phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplexes, der eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, zu einem lichtemittierenden Element mit einer langen Lebensdauer führt.

[Beispiel 5]

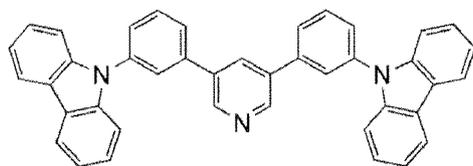
[0237] In diesem Beispiel wird ein lichtemittierendes Element 3 beschrieben, in dem $[\text{Ir}(\text{mpptz-dmp})_3]$ (Abkürzung), das der phosphoreszierende organometallische Iridiumkomplex ist, der durch die Strukturformel (101) dargestellt wird, für eine lichtemittierende Schicht verwendet wird. Bei der Beschreibung des lichtemittierenden Elements 3 in diesem Beispiel wird auf die **Fig. 13** Bezug genommen, auf die auch in der Beschreibung des lichtemittierenden Elements 1 in Beispiel 1 Bezug genommen wurde. Die chemischen Formeln der Materialien, die in diesem Beispiel verwendet werden, sind im Folgenden angegeben.



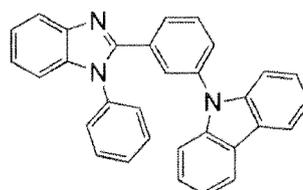
CBP



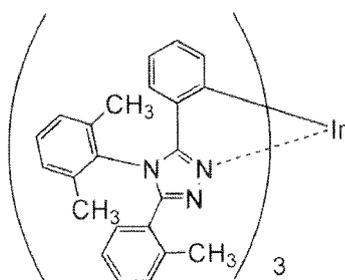
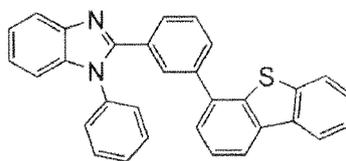
PCCP



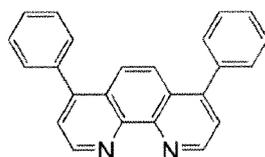
35DCzPPy



mCzBlm

 $[\text{Ir}(\text{mpptz-dmp})_3]$ 

mDBTBlm-II



BPhen

<<Herstellung des lichtemittierenden Elements 3>>

[0238] Zuerst wurde Indiumzinnoxid, enthaltend Siliciumoxid (ITSO), unter Anwendung eines Sputterverfahrens auf dem Glassubstrat **1100** aufgebracht, so dass die erste Elektrode **1101**, die als Anode diente, gebildet wurde. Die Dicke betrug 110 nm und die Elektrodenfläche betrug 2 mm x 2 mm.

[0239] Dann wurde als Vorbehandlung für die Bildung des lichtemittierenden Elements auf dem Substrat **1100** eine UV-Ozonbehandlung über einen Zeitraum von 370 Sekunden durchgeführt, nachdem eine Oberfläche des Substrats mit Wasser gewaschen und das Substrat 1 Stunde lang bei 200°C erwärmt worden war.

[0240] Danach wurde das Substrat in eine Vakuumaufdampfungsapparatur überführt, in der der Druck auf etwa 10^{-4} Pa verringert worden war, und in einer Heizkammer der Vakuumaufdampfungsapparatur 30 Minuten lang im Vakuum bei 170°C erwärmt, und dann wurde das Substrat **1100** über einen Zeitraum von etwa 30 Minuten abgekühlt.

[0241] Dann wurde das Substrat **1100** an einer Haltevorrichtung in der Vakuumaufdampfungsapparatur befestigt, so dass eine Oberfläche des Substrats **1100**, auf der die erste Elektrode **1101** aufgebracht worden war, nach unten ausgerichtet war. In diesem Beispiel wird ein Fall beschrieben, bei dem die Lochinjektionsschicht **1111**, die Lochtransportschicht **1112**, die lichtemittierende Schicht **1113**, die Elektronentransportschicht **1114** und die Elektroneninjectionsschicht **1115**, die in der EL Schicht **1102** enthalten sind, nacheinander unter Anwendung eines Vakuumaufdampfungsverfahrens aufgebracht werden.

[0242] Nachdem der Druck der Vakuumaufdampfungsapparatur auf 10^{-4} Pa verringert worden war, wurden 4,4'-Di(N-carbazolyl)biphenyl (Abkürzung: CBP) und Molybdän(VI)oxid co-aufgedampft, wobei das Massenverhältnis von CBP (Abkürzung) zu Molybdänoxid 4:2 betrug, wobei die Lochinjektionsschicht **1111** auf der ersten Elektrode **1101** gebildet wurde. Die Dicke der Lochinjektionsschicht **1111** betrug 60 nm. Der Ausdruck „co-Aufdampfen“ bezieht sich auf ein Aufdampfungsverfahren, bei dem unterschiedliche Substanzen aus unterschiedlichen Verdampfungsquellen gleichzeitig aufgedampft werden.

[0243] Dann wurde 9-Phenyl-9H-3-(9-phenyl-9H-carbazol-3-yl)carbazol (Abkürzung: PCCP) durch Aufdampfen in einer Dicke von 20 nm abgeschieden, wobei die Lochtransportschicht **1112** gebildet wurde.

[0244] Dann wurde die lichtemittierende Schicht **1113** auf der Lochtransportschicht **1112** wie folgt aufgebracht. Zuerst wurden 2-[3-(9H-carbazol-9-yl)phenyl]-1-phenylbenzimidazol (Abkürzung: mCzBlm), PCCP (Abkürzung) und $\text{Tris}\{2\text{-}[5\text{-}(2\text{-methylphenyl})\text{-}4\text{-}(2,6\text{-dimethylphenyl})\text{-}4\text{H}\text{-}1,2,4\text{-triazol}\text{-}3\text{-yl}\text{-}\kappa\text{N}_2\}\text{phenyl-}\kappa\text{C}\}\text{iridium(III)}$ (Abkürzung: $[\text{Ir}(\text{mpptz-dmp})_3]$) durch co-Aufdampfen in einer Dicke von 30 nm abgeschieden, wobei das Massenverhältnis von mCzBlm (Abkürzung) zu PCCP (Abkürzung) und $[\text{Ir}(\text{mpptz-dmp})_3]$ (Abkürzung) 0,25:1:0,06 betrug. Danach wurden mCzBlm (Abkürzung), PCCP (Abkürzung) und $[\text{Ir}(\text{mpptz-dmp})_3]$ (Abkürzung) durch co-Aufdampfen in einer Dicke von 10 nm abgeschieden, wobei das Massenverhältnis von mCzBlm (Abkürzung) zu PCCP (Abkürzung) und $[\text{Ir}(\text{mpptz-dmp})_3]$ (Abkürzung) 1:0,15:0,06 betrug. Auf diese Weise wurde die lichtemittierende Schicht **1113** mit einer Schichtstruktur gebildet.

[0245] Dann wurden auf der lichtemittierenden Schicht **1113** 2-[3-(Dibenzothiophen-4-yl)phenyl]-1-phenyl-1H-benzimidazol (Abkürzung: mDBTBlm-II) und $[\text{Ir}(\text{mpptz-dmp})_3]$ (Abkürzung) durch co-Aufdampfen in einer Dicke von 10 nm abgeschieden, wobei das Massenverhältnis von mDBTBlm-II (Abkürzung) zu $[\text{Ir}(\text{mpptz-dmp})_3]$ (Abkürzung) 1:0,06 betrug, und Bathophenanthrolin (Abkürzung: Bphen) wurde durch Aufdampfen in einer Dicke von 15 nm abgeschieden, wobei die Elektronentransportschicht **1114** mit einer Schichtstruktur gebildet wurde. Auf der Elektronentransportschicht **1114** wurde weiterhin Lithiumfluorid durch Aufdampfen in einer Dicke von 1 nm abgeschieden, wobei die Elektroneninjectionsschicht **1115** gebildet wurde.

[0246] Zuletzt wurde Aluminium durch Aufdampfen in einer Dicke von 200 nm auf der Elektroneninjectionsschicht **1115** abgeschieden, um eine zweite Elektrode **1103** zu bilden, die als Kathode diente; auf diese Weise wurde das lichtemittierende Element 3 erhalten. Bei allen zuvor genannten AufdampfungsSchritten wurde das Verdampfen durch Widerstandserwärmen durchgeführt.

[0247] Die Elementstruktur des lichtemittierenden Elements 3, das wie zuvor beschrieben erhalten worden war, ist in der Tabelle 5 angegeben.

[Tabelle 5]

	erste Elektrode	Lochinjektions-schicht	Loch-transport-schicht	lichte-mittierende Schicht	Elektronentrans-portschicht	Elektro-neninjekti-onsschicht	zweite Elektrode
lichtemit-tierendes Element 3	ITSO (110 nm)	CBP;MoO _x (4:2 60 nm)	PCCP (20 nm)	*	**	Bphen (15 nm)	LiF (1 nm) Al (200 nm)

* mCzBlm : PCCP : [Ir(mpptz-dmp)₃] (0,25 : 1 : 0,06 30 nm) \ mCzBlm : PCCP : [Ir(mpptz-dmp)₃] (1 : 0,15 : 0,06 10 nm)

** mDBTBlm-II : [Ir(mpptz-dmp)₃] (1 : 0,06 10 nm)

[0248] Das hergestellte lichtemittierende Element 3 wurde dann in einer Glovebox, die eine Stickstoffatmosphäre enthielt, versiegelt, so dass es nicht mit der Luft in Kontakt kam (genauer gesagt, ein Versiegelungsmittel wurde auf die äußere Kante des Elements aufgebracht, und das Element wurde 1 Stunde lang bei 80°C erwärmt, um das Element zu versiegeln).

<<Betriebseigenschaften des lichtemittierenden Elements 3>>

[0249] Die Betriebseigenschaften des hergestellten lichtemittierenden Elements 3 wurden gemessen. Die Messungen wurden bei Raumtemperatur (unter einer Atmosphäre, in der die Temperatur bei 25°C gehalten wurde) durchgeführt.

[0250] Die Fig. 28 zeigt die Beziehung Stromdichte-Leuchtdichte des lichtemittierenden Elements 3. In der Fig. 28 gibt die vertikale Achse die Leuchtdichte (cd/m²) an, und die horizontale Achse gibt die Stromdichte (mA/cm²) an. Die Fig. 29 zeigt die Beziehung Spannung-Leuchtdichte des lichtemittierenden Elements 3. In der Fig. 29 gibt die vertikale Achse die Leuchtdichte (cd/m²) an, und die horizontale Achse gibt die Spannung (V) an. Die Fig. 30 zeigt die Beziehung Leuchtdichte-Stromausbeute des lichtemittierenden Elements 3. In der Fig. 30 gibt die vertikale Achse die Stromausbeute (cd/A) an, und die horizontale Achse gibt die Leuchtdichte (cd/m²) an. Die Fig. 31 zeigt die Beziehung Spannung-Strom des lichtemittierenden Elements 3. In der Fig. 31 gibt die vertikale Achse den Strom (mA) an, und die horizontale Achse gibt die Spannung (V) an. Die Fig. 32 zeigt die Beziehung Leuchtdichte-Farbkoordinaten des lichtemittierenden Elements 3. In der Fig. 32 gibt die vertikale Achse die Farbkoordinaten an, und die horizontale Achse gibt die Leuchtdichte (cd/m²) an.

[0251] Die Fig. 30 veranschaulicht die hohe Effizienz des lichtemittierenden Elements 3, in dem ein Teil der lichtemittierenden Schicht [Ir(mpptz-dmp)₃] (Abkürzung) verwendet, das der phosphoreszierende organometallische Iridiumkomplex entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist. Die Tabelle 6 zeigt die Anfangswerte der Haupteigenschaften des lichtemittierenden Elements 3 bei einer Leuchtdichte von etwa 1000 cd/m².

[Tabelle 6]

	Spannung (V)	Strom (mA)	Stromdichte (mA/cm ²)	Farbkoordinaten (x, y)	Leuchtdichte (cd/m ²)	Stromausbeute (cd/A)	Energieeffizienz (lm/W)	Quanteneffizienz (%)
lichtemittierendes Element 3	5,2	0,08	2,0	(0,21, 0,42)	940	47	28	20

[0252] Die zuvor angegebenen Ergebnisse zeigen, dass das lichtemittierende Element 3, das in diesem Beispiel hergestellt wurde, ein lichtemittierendes Element mit einer hohen Leuchtdichte und einer hohen Stromausbeute ist. Es zeigte sich weiterhin, dass das lichtemittierende Element blau-grünes Licht emittiert.

[0253] Die Fig. 33 zeigt ein Emissionsspektrum, das erhalten wurde, wenn ein Strom bei einer Stromdichte von 0,1 mA/cm² an das lichtemittierende Element 3 angelegt wurde. Das Emissionsspektrum des lichtemittierenden Elements 3 hat, wie in der Fig. 33 gezeigt, einen Peak bei 482 nm, und es wird davon ausgegangen, dass der Peak von einer Emission des phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplexes [Ir(mpptz-dmp)₃] (Abkürzung) stammt.

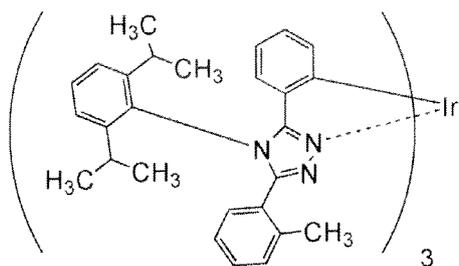
[0254] Das lichtemittierende Element 3 wurde einem Zuverlässigkeitstest unterworfen. Die Ergebnisse des Zuverlässigkeitstests sind in der Fig. 34 gezeigt. In der Fig. 34 gibt die vertikale Achse die normalisierte Leuchtdichte (%) an, wobei die ursprüngliche Anfangsleuchtdichte 100% beträgt, und die horizontale Achse gibt die Zeit (Stunden) an, während der das Element betrieben wurde. In dem Zuverlässigkeitstest wurde das lichtemittierende Element 3 so betrieben, dass die ursprüngliche Leuchtdichte 1000 cd/m² betrug und die Stromdichte konstant gehalten wurde. Das lichtemittierende Element 3 zeigte nach 100 Stunden noch etwa 80% der Anfangsleuchtdichte.

[0255] Der Zuverlässigkeitstest zeigte auf diese Weise die hohe Zuverlässigkeit des lichtemittierenden Elements 3. Zusätzlich wurde bestätigt, dass die Verwendung des phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplexes, der eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, zu einem lichtemittierenden Element mit einer langen Lebensdauer führt.

[Beispiel 6]

<<Synthesebeispiel 3>>

[0256] In diesem Beispiel wird ein Verfahren zum Herstellen des phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplexes Tris{2-[5-(2-methylphenyl)-4-(2,6-diisopropylphenyl)-4H-1,2,4-triazol-3-yl-κN2]phenyl-κC}iridium(III) (Abkürzung: [Ir(mpptz-diPrp)₃]) beschrieben, der eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, dargestellt durch die Strukturformel (105) in der Ausführungsform 1. Die Struktur von [Ir(mpptz-diPrp)₃] (Abkürzung) ist im Folgenden angegeben.

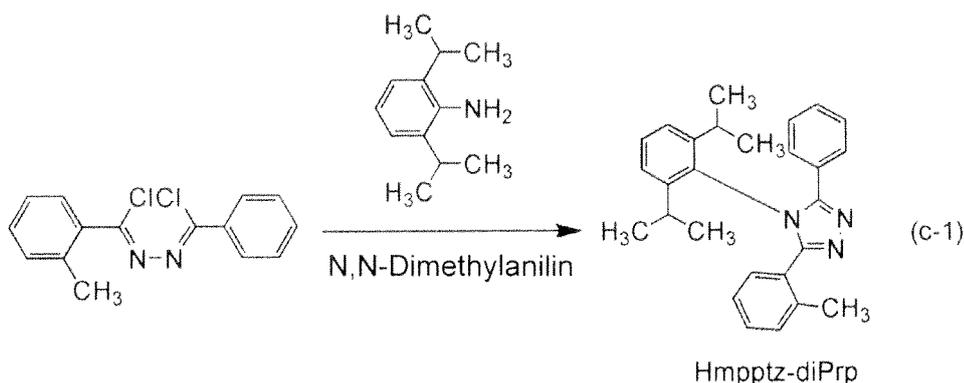


(105)

[Ir(mpptz-diPrp)₃]

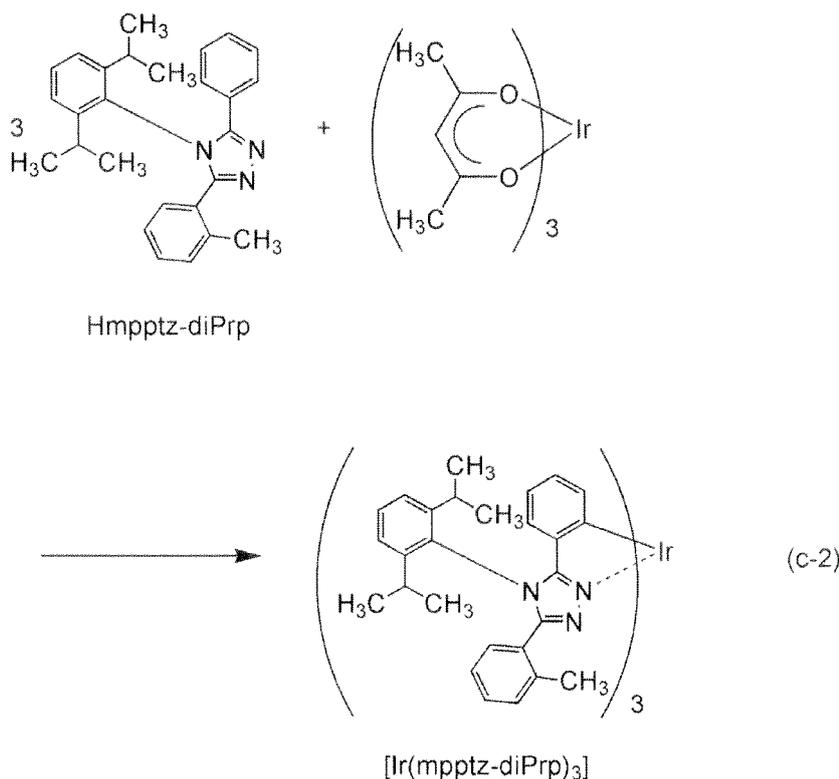
(Schritt 1: Herstellung von 3-Phenyl-4-(2,6-diisopropylphenyl)-5-(2-methylphenyl)-1,2,4-4H-triazol (Abkürzung: Hmpptz-diPrp))

[0257] In einen 300 ml Dreihalskolben wurden 12,6 g (43,3 mMol) [Chlor(2-methylphenyl)methanon][chlor(phenyl)methyliden]hydrazon, 25,0 g (141 mMol) 2,6-Diisopropylanilin und 100 ml N,N-Dimethylanilin gegeben, und das Gemisch wurde 20 Stunden lang bei 160°C erwärmt und gerührt. Nachdem die Umsetzung über einen vorher festgelegten Zeitraum durchgeführt worden war, wurde die Reaktionslösung langsam zu 500 ml 1 M Salzsäure gegeben, und das Gemisch wurde 30 Minuten lang gerührt. Zu dieser Lösung wurde Dichlormethan gegeben, und die gewünschte Substanz wurde extrahiert. Die erhaltene organische Schicht wurde mit Wasser und einer wässrigen Lösung von Natriumhydrogencarbonat gewaschen, und dann mit Magnesiumsulfat getrocknet. Das Magnesiumsulfat wurde unter dem Einfluss der Schwerkraft abfiltriert und entfernt, und das Lösungsmittel in der erhaltenen organischen Schicht wurde abdestilliert, wobei eine braune Flüssigkeit erhalten wurde. Diese Flüssigkeit wurde mittels Silicagel-Säulenchromatographie gereinigt. Ein gemischtes Lösungsmittel aus Ethylacetat und Hexan in einem Verhältnis von 1:2 wurde dabei als Laufmittel verwendet. Die erhaltene Fraktion wurde aufkonzentriert, wobei 5,2 g eines braunen Feststoffes von Hmpptz-diPrp (Abkürzung), welches das gewünschte 4H-Triazolderivat war, in einer Ausbeute von 52% erhalten wurden. Das Syntheschema von Schritt 1 ist in (c-1) angegeben.



(Schritt 2: Herstellung von Tris{2-[5-(2-methylphenyl)-4-(2,6-diisopropylphenyl)-4H-1,2,4-triazol-3-yl-κ2]phenyl-κ}iridium(III) (Abkürzung: [Ir(mpptz-diPrp)3])

[0258] Dann wurden 4,0 g (10,0 mMol) Hmpptz-diPrp (Abkürzung), das der in Schritt 1 erhaltene Ligand ist, und 1,0 g (2,0 mMol) Tris(acetylacetonato)iridium(III) in einen Behälter zum Erwärmen auf eine hohe Temperatur gegeben, und eine Entgasung wurde durchgeführt. Das Gemisch in dem Reaktionsbehälter wurde 48 Stunden lang unter einem Argonstrom bei 250°C erwärmt und gerührt. Nachdem die Umsetzung über einen vorher festgelegten Zeitraum durchgeführt worden war, wurde der erhaltene Feststoff mit Dichlormethan gewaschen, wobei ein gelber Feststoff erhalten wurde. Dieser Feststoff wurde mit Toluol umkristallisiert, wobei 1,4 g eines gelben Pulvers von [Ir(mpptz-diPrp)₃] (Abkürzung), das der phosphoreszierende organometallische Iridiumkomplex entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, in einer Ausbeute von 51% erhalten wurden. Das Syntheschema von Schritt 2 ist in (c-2) angegeben.



[0259] Die Ergebnisse der Analyse des gelben Pulvers, das in Schritt 2 erhalten worden war, mittels Kernresonanzspektroskopie (¹H-NMR) sind im Folgenden angegeben. Die **Fig. 37** zeigt das ¹H-NMR Spektrum. Diese Ergebnisse zeigen, dass [Ir(mpptz-diPrp)₃] (Abkürzung), das der organometallische Komplex entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, dargestellt durch die Strukturformel (105), in dem Synthesebeispiel 3 erhalten worden war.

[0260] ¹H-NMR. δ(CDCl₃) 0,69-0,71 (d, 3H), 0,73-0,76 (d, 3H), 0,78-0,81 (d, 3H), 0,92-0,95 (d, 3H), 2,24-2,29 (m, 1H), 2,30 (s, 3H), 2,79-2,85 (m, 1H), 6,16-6,18 (d, 1H), 6,47-6,52 (t, 1H), 6,67-6,71 (t, 1H), 6,77-6,79 (d, 1H), 6,81-6,84 (t, 1H), 6,89-6,91 (d, 1H), 7,09-7,13 (t, 1H), 7,15-7,17 (t, 1H), 7,19-7,22 (q, 2H), 7,43-7,47 (t, 1H).

[0261] Dann wurden ein UV-VIS-Absorptionsspektrum (im Folgenden der Einfachheit halber als „Absorptionsspektrum“ bezeichnet) einer Dichlormethanolösung von [Ir(mpptz-diPrp)₃] (Abkürzung) und ein Emissionsspektrum davon aufgenommen. Das Absorptionsspektrum wurde bei Raumtemperatur aufgenommen, wobei ein UV-VIS-Spektrophotometer (Typ V550, hergestellt von Japan Spectroscopy Corporation) verwendet wurde und wobei die Dichlormethanolösung (0,643 mMol/l) in eine Quarzelle gegeben wurde. Das Emissionsspektrum wurde bei Raumtemperatur aufgenommen, wobei ein Fluoreszenz-Spektrophotometer (FS920, hergestellt von Hamamatsu Photonics K. K.) verwendet wurde und wobei die entgaste Toluollösung (0,643 mMol/l) in eine Quarzelle gegeben wurde. Die Messergebnisse der erhaltenen Absorptions- und Emissionsspektren sind in der **Fig. 38** gezeigt, wobei die horizontale Achse die Wellenlänge angibt und die vertikalen Achsen der Absorptionsintensität und der Emissionsintensität entsprechen. In der **Fig. 38** sind zwei durchgezogene Linien gezeigt; die dünne Linie ist das Absorptionsspektrum und die dicke Linie ist das Emissionsspektrum.

Das Absorptionsspektrum, das in der **Fig. 38** gezeigt ist, wurde erhalten, indem das Absorptionsspektrum von Dichlormethan in einer Quarzelle von dem Absorptionsspektrum der Dichlormethanolösung (0,062 mMol/l) in einer Quarzelle subtrahiert wurde.

[0262] Die **Fig. 38** zeigt, dass $[\text{Ir}(\text{mpptz-dipr})_3]$ (Abkürzung), der phosphoreszierende organometallische Iridiumkomplex entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, Emissionspeaks bei 480 nm und 503 nm zeigt, und aus der Dichlormethanolösung wurde eine Emission von blau-grünem Licht beobachtet.

[0263] Das $[\text{Ir}(\text{mpptz-dipr})_3]$ (Abkürzung), das in diesem Beispiel erhalten worden war, wurde ebenfalls mittels Flüssigchromatographie/Massenspektrometrie (LC/MS) analysiert.

[0264] Die LC/MS-Analyse wurde mit den Geräten Acquity UPLC (hergestellt von Waters Corporation) und Xevo G2 ToF MS (hergestellt von Waters Corporation) durchgeführt.

[0265] Bei der MS-Analyse wurde die Ionisation unter Anwendung eines Elektrospray-Ionisations (ESI)-Verfahrens durchgeführt. Zu diesem Zeitpunkt wurden die Kapillarspannung und die Konusspannung auf jeweils 3,0 kV und 30 V eingestellt, und die Detektion wurde im positiv-Modus durchgeführt. Ein Bestandteil mit m/z von 1376,65, der unter den zuvor beschriebenen Bedingungen ionisiert worden war, wurde in einer Kollisionszelle zur Kollision mit einem Argongas gebracht, so dass er in Produkt-Ionen dissoziierte. Die Energie (Kollisionsenergie) für die Kollision mit Argon betrug 70 eV. Der Massenbereich für die Messung war $m/z = 100$ bis 1500.

[0266] Die Ergebnisse der Detektion der dissoziierten Produkt-Ionen mittels Flugzeit (TOF)-MS sind in der **Fig. 39** gezeigt.

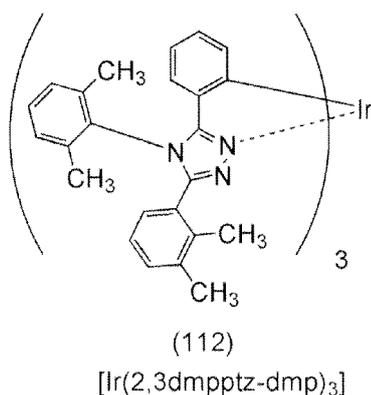
[0267] Die Ergebnisse in der **Fig. 39** zeigen, dass die Produkt-Ionen von $[\text{Ir}(\text{mpptz-dipr})_3]$ (Abkürzung), das der phosphoreszierende organometallische Iridiumkomplex entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, dargestellt durch die Strukturformel (105), hauptsächlich bei etwa m/z 981,42 und m/z 953,39 detektiert wurden. Die Ergebnisse in der **Fig. 39** zeigen Eigenschaften, die von $[\text{Ir}(\text{mpptz-dipr})_3]$ (Abkürzung) abgeleitet sind, und können deshalb als wichtige Daten verwendet werden, um $[\text{Ir}(\text{mpptz-dipr})_3]$ (Abkürzung) zu identifizieren, das in dem Gemisch enthalten ist.

[0268] Es wird davon ausgegangen, dass das Produkt-Ion bei etwa m/z 981,42 ein Kation in einem Zustand ist, in dem ein Hmpptz-dipr (Abkürzung), das der Ligand ist, aus der Verbindung mit der Strukturformel (105) eliminiert wurde, und dies ist charakteristisch für den phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplex, der eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist. Es wird davon ausgegangen, dass das Produkt-Ion bei etwa m/z 953,39 aus der Eliminierung von zwei Methylgruppen aus dem Produkt-Ion bei etwa m/z 981,42 resultiert, was darauf hindeutet, dass $[\text{Ir}(\text{mpptz-dipr})_3]$ (Abkürzung), das der organometallische Iridiumkomplex entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, eine Methylgruppe enthält.

[Beispiel 7]

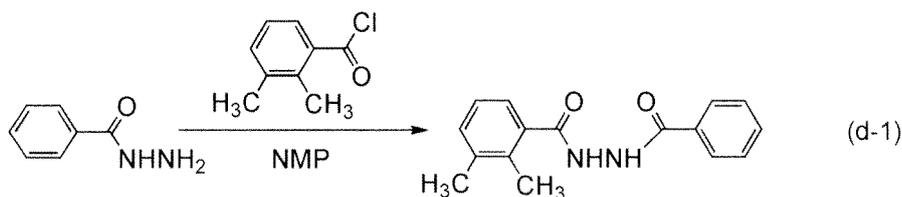
<<Synthesebeispiel 4>>

[0269] In diesem Beispiel wird ein Verfahren zum Herstellen des phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplexes $\text{Tris}\{2\text{-}[5\text{-}(2,3\text{-dimethylphenyl})\text{-}4\text{-}(2,6\text{-dimethylphenyl})\text{-}4\text{H-}1,2,4\text{-triazol-}3\text{-yl-}\kappa\text{N}2\}\text{phenyl-}\kappa\text{C}\}\text{iridium(III)}$ (Abkürzung: $[\text{Ir}(2,3\text{dmpptz-dmp})_3]$) beschrieben, der eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, dargestellt durch die Strukturformel (112) in der Ausführungsform 1. Die Struktur von $[\text{Ir}(2,3\text{dmpptz-dmp})_3]$ (Abkürzung) ist im Folgenden angegeben.



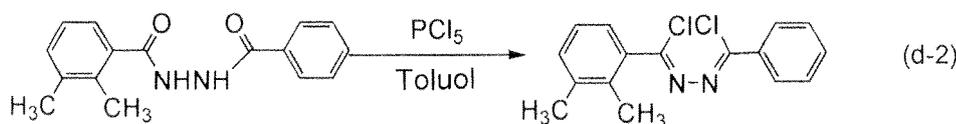
<Schritt 1: Herstellung von 1-(2,3-Dimethylbenzoyl)-2-benzoylhydrazin>

[0270] Zuerst wurden 9,4 g (69,0 mMol) Benzoylhydrazin und 50 ml N-Methyl-2-pyrrolidinon (NMP) in einen 300 ml Dreihalskolben gegeben und unter einem Stickstoffstrom gerührt, und dabei mit Eis gekühlt. Zu dieser gemischten Lösung wurde langsam tropfenweise eine gemischte Lösung von 13,0 g (77,1 mMol) 2,3-Dimethylbenzoylchlorid und 10 ml NMP gegeben, und das Gemisch wurde 24 Stunden lang bei Raumtemperatur gerührt. Nachdem die Umsetzung über einen vorher festgelegten Zeitraum durchgeführt worden war, wurde diese Reaktionslösung langsam zu 500 ml Wasser gegeben, wobei ein weißer Feststoff ausfiel. Der ausgefallene Feststoff wurde unter Anwendung von Ultraschall erst mit Wasser und dann mit 1 M Salzsäure gewaschen, wobei dieser Waschprozess zweimal durchgeführt wurde. Dann wurde eine Ultraschallreinigung unter Verwendung von Hexan durchgeführt, wobei 16,9 g eines weißen Feststoffes von 1-(2,3-Dimethylbenzoyl)-2-benzoylhydrazin in einer Ausbeute von 91% erhalten wurden. Das Syntheschema von Schritt 1 ist in (d-1) angegeben.



<Schritt 2: Herstellung von [Chlor(2,3-dimethylphenyl)methanon][chlor(phenyl)methylen]hydrazon>

[0271] Dann wurden 16,9 g (62,9 mMol) 1-(2,3-Dimethylbenzoyl)-2-benzoylhydrazin, erhalten in Schritt 1, und 330 ml Toluol in einen 1 l Dreihalskolben gegeben. Zu dieser gemischten Lösung wurden 50,0 g (240,1 mMol) Phosphorpentachlorid gegeben, und das Gemisch wurde 17 Stunden lang bei 120°C erwärmt und gerührt. Nachdem die Umsetzung über einen vorher festgelegten Zeitraum durchgeführt worden war, wurde diese Reaktionslösung langsam zu 1 l Wasser gegeben, und das Gemisch wurde 30 Minuten lang bei Raumtemperatur gerührt. Die organische Schicht wurde gesammelt, und diese organische Schicht wurde langsam zu 1 l einer 1 M wässrigen Lösung von Kaliumhydroxid gegeben, und das Gemisch wurde 30 Minuten lang bei Raumtemperatur gerührt. Diese organische Schicht wurde weiterhin mit einer gesättigten wässrigen Lösung von Natriumhydrogencarbonat und dann mit reinem Wasser gewaschen. Die organische Schicht wurde gesammelt und mit Magnesiumsulfat getrocknet, und das Lösungsmittel wurde dann abdestilliert, wobei 21,2 g einer gelben Flüssigkeit von [Chlor(2,3-dimethylphenyl)methanon][chlor(phenyl)methylen]-hydrazon in einer Rohausbeute von 110% erhalten wurden. Das Syntheschema von Schritt 2 ist in (d-2) angegeben.



[0275] $^1\text{H-NMR}$. δ (d-Toluol): 1,85 (s, 3H), 2,05 (s, 3H), 2,15 (s, 3H), 2,20 (s, 3H), 6,28-6,31 (d, 1H), 6,48-6,53 (d, 1H), 6,68-6,70 (d, 1H), 6,71-6,78 (t, 1H), 6,78-6,82 (t, 1H), 6,84-6,88 (m, 1H), 7,01-7,15 (d, 1H), 7,07-7,11 (d, 2H), 7,21-7,25 (m, 1H).

[0276] Dann wurden ein UV-VIS-Absorptionsspektrum (im Folgenden der Einfachheit halber als „Absorptionsspektrum“ bezeichnet) einer Toluollösung von $[\text{Ir}(\text{2,3dmpptz-dmp})_3]$ (Abkürzung) und ein Emissionsspektrum davon aufgenommen. Das Absorptionsspektrum wurde bei Raumtemperatur aufgenommen, wobei ein UV-VIS-Spektrophotometer (Typ V550, hergestellt von Japan Spectroscopy Corporation) verwendet wurde und wobei die Toluollösung (0,98 mMol/l) in eine Quarz-Zelle gegeben wurde. Das Emissionsspektrum wurde bei Raumtemperatur aufgenommen, wobei ein Fluoreszenz-Spektrophotometer (FS920, hergestellt von Hamamatsu Photonics K. K.) verwendet wurde und wobei die entgaste Toluollösung (0,98 mMol/l) in eine Quarz-Zelle gegeben wurde. Die Messergebnisse der erhaltenen Absorptions- und Emissionsspektren sind in der **Fig. 41** gezeigt, wobei die horizontale Achse die Wellenlänge angibt und die vertikalen Achsen der Absorptionsintensität und der Emissionsintensität entsprechen. In der **Fig. 41** sind zwei durchgezogene Linien gezeigt; die dünne Linie ist das Absorptionsspektrum und die dicke Linie ist das Emissionsspektrum. Das Absorptionsspektrum, das in der **Fig. 41** gezeigt ist, wurde erhalten, indem das Absorptionsspektrum von Dichlormethan in einer Quarz-Zelle von dem Absorptionsspektrum der Dichlormethanlösung (0,062 mMol/l) in einer Quarz-Zelle subtrahiert wurde.

[0277] Die **Fig. 41** zeigt, dass $[\text{Ir}(\text{2,3dmpptz-dmp})_3]$ (Abkürzung), der phosphoreszierende organometallische Iridiumkomplex entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, Emissionspeaks bei 480 nm und 501 nm zeigt, und aus der Toluollösung wurde eine Emission von blau-grünem Licht beobachtet.

[0278] Das $[\text{Ir}(\text{2,3dmpptz-dmp})_3]$ (Abkürzung), das in diesem Beispiel erhalten worden war, wurde ebenfalls mittels Flüssigchromatographie/Massenspektrometrie (LC/MS) analysiert.

[0279] Die LC/MS-Analyse wurde mit den Geräten Acquity UPLC (hergestellt von Waters Corporation) und Xevo G2 ToF MS (hergestellt von Waters Corporation) durchgeführt.

[0280] Bei der MS-Analyse wurde die Ionisation unter Anwendung eines Elektrospray-Ionisations (ESI)-Verfahrens durchgeführt. Zu diesem Zeitpunkt wurden die Kapillarspannung und die Konusspannung auf jeweils 3,0 kV und 30 V eingestellt, und die Detektion wurde im positiv-Modus durchgeführt. Ein Bestandteil mit m/z von 1250,52, der unter den zuvor beschriebenen Bedingungen ionisiert worden war, wurde in einer Kollisionszelle zur Kollision mit einem Argongas gebracht, so dass er in Produkt-Ionen dissoziierte. Die Energie (Kollisionsenergie) für die Kollision mit Argon betrug 50 eV. Der Massenbereich für die Messung war $m/z = 30$ bis 1500.

[0281] Die Ergebnisse der Detektion der dissoziierten Produkt-Ionen mittels Flugzeit (TOF)-MS sind in der **Fig. 42** gezeigt.

[0282] Die Ergebnisse in der **Fig. 42** zeigen, dass die Produkt-Ionen von $[\text{Ir}(\text{2,3dmpptz-dmp})_3]$ (Abkürzung), das der phosphoreszierende organometallische Iridiumkomplex entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, dargestellt durch die Strukturformel (112), hauptsächlich bei etwa m/z 897,33 und m/z 869,23 detektiert wurden. Die Ergebnisse in der **Fig. 42** zeigen Eigenschaften, die von $[\text{Ir}(\text{2,3dmpptz-dmp})_3]$ (Abkürzung) abgeleitet sind, und können deshalb als wichtige Daten verwendet werden, um $[\text{Ir}(\text{2,3dmpptz-dmp})_3]$ (Abkürzung) zu identifizieren, das in dem Gemisch enthalten ist.

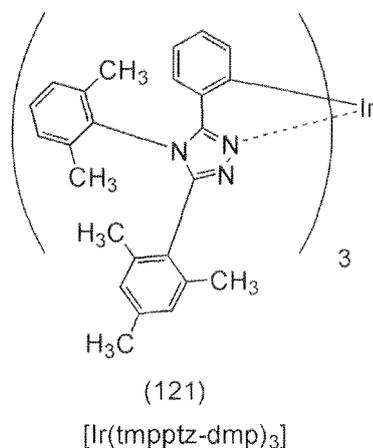
[0283] Es wird davon ausgegangen, dass das Produkt-Ion bei etwa m/z 897,33 ein Kation in einem Zustand ist, in dem ein $\text{H}_2\text{,3dmpptz-dmp}$ (Abkürzung), das der Ligand ist, aus der Verbindung mit der Strukturformel (112) eliminiert wurde, und dies ist charakteristisch für den phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplex, der eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist. Es wird davon ausgegangen, dass das Produkt-Ion bei etwa m/z 869,23 aus der Eliminierung von zwei Methylgruppen aus dem Produkt-Ion bei etwa m/z 897,33 resultiert, was darauf hindeutet, dass $[\text{Ir}(\text{2,3dmpptz-dmp})_3]$ (Abkürzung), das der organometallische Iridiumkomplex entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, eine Methylgruppe enthält.

[Beispiel 8]

<<Synthesebeispiel 5>>

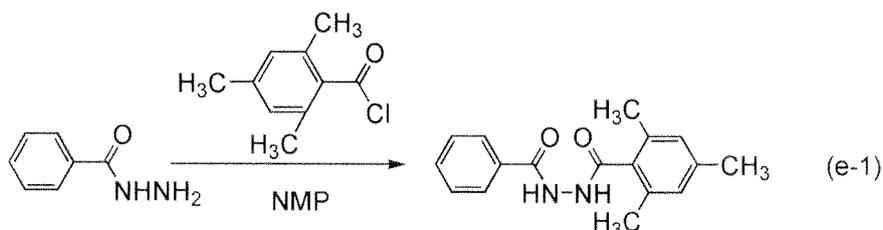
[0284] In diesem Beispiel wird ein Verfahren zum Herstellen des phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplexes $\text{Tris}\{2\text{-}[4\text{-}(2,6\text{-dimethylphenyl})\text{-}5\text{-}(2,4,6\text{-trimethylphenyl})\text{-}4\text{H}\text{-}1,2,4\text{-triazol}\text{-}3\text{-yl}\text{-}\kappa\text{N}2\}$

phenyl-κC}iridium(III) (Abkürzung: $[\text{Ir}(\text{tmpptz-dmp})_3]$) beschrieben, der eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, dargestellt durch die Strukturformel (121) in der Ausführungsform 1. Die Struktur von $[\text{Ir}(\text{tmpptz-dmp})_3]$ (Abkürzung) ist im Folgenden angegeben.



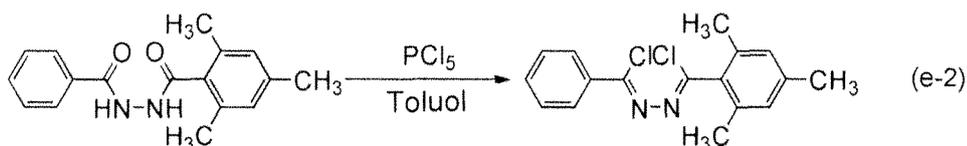
(Schritt 1: Herstellung von 1-(2,4,6-Trimethylbenzoyl)-2-benzoylhydrazin)

[0285] Zuerst wurden 16,7 g (123,3 mMol) Benzoylhydrazin und 100 ml N-Methyl-2-pyrrolidinon (NMP) in einen 300 ml Dreihalskolben gegeben und unter einem Stickstoffstrom gerührt, und dabei mit Eis gekühlt. Zu dieser gemischten Lösung wurde langsam tropfenweise eine gemischte Lösung aus 25,0 g (137,3 mMol) 2,4,6-Trimethylbenzoylchlorid und 20 ml NMP gegeben, und das Gemisch wurde 24 Stunden lang bei Raumtemperatur gerührt. Nachdem die Umsetzung über einen vorher festgelegten Zeitraum durchgeführt worden war, wurde diese Reaktionslösung langsam zu 500 ml Wasser gegeben, wobei ein weißer Feststoff ausfiel. Der ausgefallene Feststoff wurde unter Anwendung von Ultraschall erst mit Wasser und dann mit 1 M Salzsäure gewaschen, wobei dieser Waschprozess zweimal durchgeführt wurde. Dann wurde eine Ultraschallreinigung unter Verwendung von Hexan durchgeführt, wobei 22,7 g eines weißen Feststoffes von 1-(2,4,6-Trimethylbenzoyl)-2-benzoylhydrazin in einer Ausbeute von 65% erhalten wurden. Das Syntheschema von Schritt 1 ist in (e-1) angegeben.



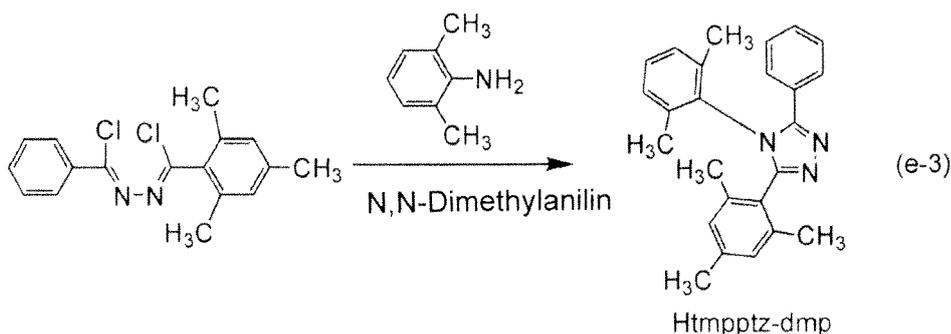
(Schritt 2: Herstellung von [Chlor(2,4,6-trimethylphenyl)methanon][chlor(phenyl)methyliden]hydrazon)

[0286] Dann wurden 11,6 g (41,1 mMol) 1-(2,4,6-Trimethylbenzoyl)-2-benzoylhydrazin, erhalten in Schritt 1, und 250 ml Toluol in einen 1 l Dreihalskolben gegeben. Zu dieser gemischten Lösung wurden 25,0 g (120,0 mMol) Phosphorpentachlorid gegeben, und das Gemisch wurde 8 Stunden lang bei 120°C erwärmt und gerührt. Nachdem die Umsetzung über einen vorher festgelegten Zeitraum durchgeführt worden war, wurde diese Reaktionslösung langsam zu 500 ml Wasser gegeben, und das Gemisch wurde 30 Minuten lang bei Raumtemperatur gerührt. Die organische Schicht wurde gesammelt, und diese organische Schicht wurde langsam zu 1 l einer 1 M wässrigen Lösung von Kaliumhydroxid gegeben, und das Gemisch wurde 30 Minuten lang bei Raumtemperatur gerührt. Diese organische Schicht wurde weiterhin mit einer gesättigten wässrigen Lösung von Natriumhydrogencarbonat und dann mit reinem Wasser gewaschen. Die organische Schicht wurde gesammelt und mit Magnesiumsulfat getrocknet, und dann wurde das Lösungsmittel abdestilliert, wobei eine gelbe ölige Substanz erhalten wurde. Diese ölige Substanz wurde mittels Silicagel-Säulenchromatographie gereinigt. Ein gemischtes Lösungsmittel aus Hexan und Ethylacetat in einem Verhältnis von 5:1 wurde dabei als Laufmittel verwendet. Die erhaltene Fraktion wurde aufkonzentriert, wobei 7,2 g einer gelben Flüssigkeit von [Chlor(2,4,6-trimethylphenyl)methanon][chlor(phenyl)methyliden]hydrazon in einer Ausbeute von 55% erhalten wurden. Das Syntheschema von Schritt 2 ist in (e-2) angegeben.



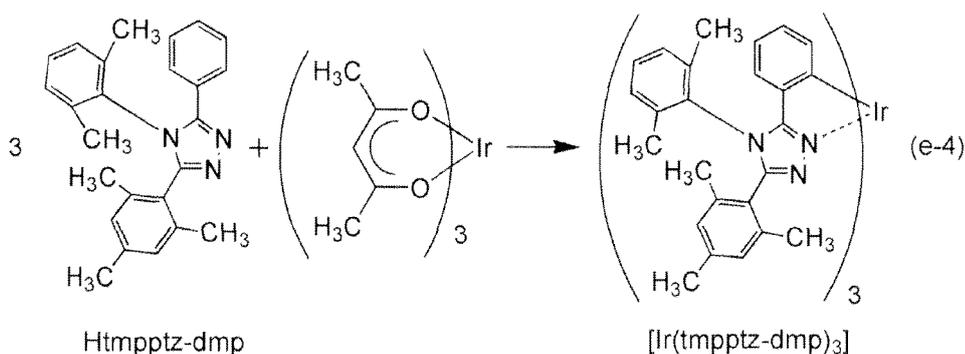
(Schritt 3: Herstellung von 3-Phenyl-4-(2,6-dimethylphenyl)-5-(2,4,6-trimethylphenyl)-1,2,4-4H-triazol (Abkürzung: Htmpptz-dmp))

[0287] In einen 200 ml Dreihalskolben wurden 7,0 g (21,9 mMol) [Chlor(2,4,6-trimethylphenyl)-methanon] [chlor(phenyl)methyliden]hydrazon, erhalten in Schritt 2, 8,0 g (65,7 mMol) 2,6-Dimethylanilin und 50 ml N,N-Dimethylanilin gegeben, und das Gemisch wurde 24 Stunden lang bei 170°C erwärmt und gerührt. Nachdem die Umsetzung über einen vorher festgelegten Zeitraum durchgeführt worden war, wurde die Reaktionslösung langsam in 1 M Salzsäure gegossen, und das Gemisch wurde 30 Minuten lang gerührt. In dieses Gemisch wurde Dichlormethan gegossen, und die organische Schicht wurde abgetrennt. Diese organische Schicht wurde mit einer gesättigten wässrigen Lösung von Natriumhydrogencarbonat und mit reinem Wasser gewaschen, und dann mit Magnesiumsulfat getrocknet; danach wurde das Lösungsmittel abdestilliert, wobei eine gelbe ölige Substanz erhalten wurde. Diese ölige Substanz wurde mittels Silicagel-Säulenchromatographie gereinigt. Dabei wurde als Laufmittel ein gemischtes Lösungsmittel aus Hexan und Ethylacetat in einem Verhältnis von 3:1 verwendet. Die erhaltene Fraktion wurde aufkonzentriert, wobei 2,3 g eines weißen Feststoffes von Htmpptz-dmp, welches das gewünschte 4H-Triazolderivat war, in einer Ausbeute von 27% erhalten wurden. Das Syntheschema von Schritt 3 ist in (e-3) angegeben.



(Schritt 4: Herstellung von Tris{2-[4-(2,6-dimethylphenyl)-5-(2,4,6-trimethylphenyl)-4H-1,2,4-triazol-3-yl-κN2]phenyl-κC}iridium(III) (Abkürzung: [Ir(tmpptz-dmp)₃])

[0288] In einen Behälter zum Erwärmen auf eine hohe Temperatur wurden 2,2 g (6,0 mMol) Htmpptz-dmp (Abkürzung), das der in Schritt 3 erhaltene Ligand war, und 0,6 g (1,2 mMol) Tris(acetylacetonato)iridium(III) gegeben, und eine Entgasung wurde durchgeführt. Das Gemisch in dem Reaktionsbehälter wurde 48 Stunden lang unter einem Argonstrom bei 250°C erwärmt und gerührt. Das Reaktionsgemisch wurde mittels Silicagel-Chromatographie gereinigt. Dabei wurde als Laufmittel ein gemischtes Lösungsmittel aus Hexan und Ethylacetat in einem Verhältnis von 2:1 verwendet. Die erhaltene Fraktion wurde aufkonzentriert, wobei ein gelber Feststoff erhalten wurde. Dieser Feststoff wurde mit Ethylacetat umkristallisiert, wobei 0,7 g eines gelblich-grünen Feststoffes in einer Ausbeute von 27% erhalten wurden. Dieser Feststoff wurde unter Anwendung eines Train-Sublimation-Verfahrens gereinigt. Die Reinigung mittels Sublimation wurde durch Erwärmen bei 310°C unter einem Druck von 3,5 Pa bei einer Argon-Fließgeschwindigkeit von 5 ml/Minute durchgeführt. Nach der Reinigung durch Sublimation wurden 0,5 g eines gelben Feststoffes von [Ir(tmpptz-dmp)₃] (Abkürzung), welches der phosphoreszierende organometallische Iridiumkomplex entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, in einer Ausbeute von 76% erhalten. Das Syntheschema von Schritt 4 ist in (e-4) angegeben.



[0289] Die Ergebnisse der Analyse des gelben Feststoffes, der in Schritt 4 erhalten worden war, mittels Kernresonanzspektroskopie ($^1\text{H-NMR}$) sind im Folgenden angegeben. Die **Fig. 43** zeigt das $^1\text{H-NMR}$ Spektrum. Diese Ergebnisse zeigen, dass $[\text{Ir}(\text{tmpptz-dmp})_3]$ (Abkürzung), das der phosphoreszierende organometallische Iridiumkomplex entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, dargestellt durch die Strukturformel (121), in dem Synthesebeispiel 5 erhalten worden war.

[0290] $^1\text{H-NMR}$. $\delta(\text{CDCl}_3)$: 1,61 (s, 3H), 1,83 (s, 3H), 2,03 (s, 3H), 2,08 (s, 3H), 2,18 (s, 3H), 6,28-6,31 (d, 1H), 6,42-6,48 (t, 1H), 6,64 (s, 1H), 6,69 (s, 1H), 6,72-6,76 (t, 1H), 6,78-6,82 (m, 1H), 7,02-7,09 (m, 2H), 7,21-7,25 (t, 1H).

[0291] Dann wurden ein UV-VIS-Absorptionsspektrum (im Folgenden der Einfachheit halber als „Absorptionsspektrum“ bezeichnet) einer Toluollösung von $[\text{Ir}(\text{tmpptz-dmp})_3]$ (Abkürzung) und ein Emissionsspektrum davon aufgenommen. Das Absorptionsspektrum wurde bei Raumtemperatur aufgenommen, wobei ein UV-VIS-Spektrophotometer (Typ V550, hergestellt von Japan Spectroscopy Corporation) verwendet wurde und wobei die Toluollösung (0,98 mMol/l) in eine Quarzcell gegeben wurde. Das Emissionsspektrum wurde bei Raumtemperatur aufgenommen, wobei ein Fluoreszenz-Spektrophotometer (FS920, hergestellt von Hamamatsu Photonics K. K.) verwendet wurde und wobei die entgaste Toluollösung (0,98 mMol/l) in eine Quarzcell gegeben wurde. Die Messergebnisse der erhaltenen Absorptions- und Emissionsspektren sind in der **Fig. 44** gezeigt, wobei die horizontale Achse die Wellenlänge angibt und die vertikalen Achsen der Absorptionsintensität und der Emissionsintensität entsprechen. In der **Fig. 44** sind zwei durchgezogene Linien gezeigt; die dünne Linie ist das Absorptionsspektrum und die dicke Linie ist das Emissionsspektrum. Das Absorptionsspektrum, das in der **Fig. 44** gezeigt ist, wurde erhalten, indem das Absorptionsspektrum von Dichlormethan in einer Quarzcell von dem Absorptionsspektrum der Dichlormethanolösung (0,062 mMol/l) in einer Quarzcell subtrahiert wurde.

[0292] Die **Fig. 44** zeigt, dass $[\text{Ir}(\text{tmpptz-dmp})_3]$ (Abkürzung), der phosphoreszierende organometallische Iridiumkomplex entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, Emissionspeaks bei 480 nm und 501 nm zeigt, und aus der Toluollösung wurde eine Emission von blau-grünem Licht beobachtet.

[0293] Das $[\text{Ir}(\text{tmpptz-dmp})_3]$ (Abkürzung), das in diesem Beispiel erhalten worden war, wurde ebenfalls mittels Flüssigchromatographie/Massenspektrometrie (LC/MS) analysiert.

[0294] Die LC/MS-Analyse wurde mit den Geräten Acquity UPLC (hergestellt von Waters Corporation) und Xevo G2 ToF MS (hergestellt von Waters Corporation) durchgeführt.

[0295] Bei der MS-Analyse wurde die Ionisation unter Anwendung eines Elektrospray-Ionisations (ESI)-Verfahrens durchgeführt. Zu diesem Zeitpunkt wurden die Kapillarspannung und die Konusspannung auf jeweils 3,0 kV und 30 V eingestellt, und die Detektion wurde im positiv-Modus durchgeführt. Der Massenbereich für die Messung war $m/z = 30$ bis 1500.

[0296] Ein Bestandteil mit m/z von 1291,56, der unter den zuvor beschriebenen Bedingungen ionisiert worden war, wurde in einer Kollisionzelle zur Kollision mit einem Argongas gebracht, so dass er in Produkt-Ionen dissoziierte. Die Energie (Kollisionsenergie) für die Kollision mit Argon betrug 50 eV. Die Ergebnisse der Detektion der dissoziierten Produkt-Ionen mittels Flugzeit (TOF)-MS sind in der **Fig. 45** gezeigt.

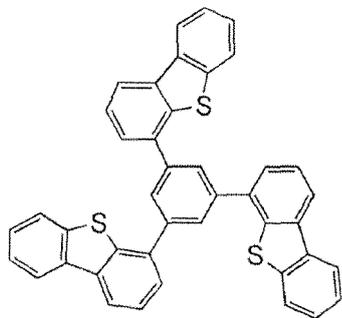
[0297] Die Ergebnisse in der **Fig. 45** zeigen, dass die Produkt-Ionen von $[\text{Ir}(\text{tmpptz-dmp})_3]$ (Abkürzung), das der phosphoreszierende organometallische Iridiumkomplex entsprechend einer Ausführungsform der vorlie-

genden Erfindung ist, dargestellt durch die Strukturformel (121), hauptsächlich bei etwa m/z 925,36 und m/z 897,33 detektiert wurden. Die Ergebnisse in der **Fig. 45** zeigen Eigenschaften, die von $[\text{Ir}(\text{tmpptz-dmp})_3]$ (Abkürzung) abgeleitet sind, und können deshalb als wichtige Daten verwendet werden, um $[\text{Ir}(\text{tmpptz-dmp})_3]$ (Abkürzung) zu identifizieren, das in dem Gemisch enthalten ist.

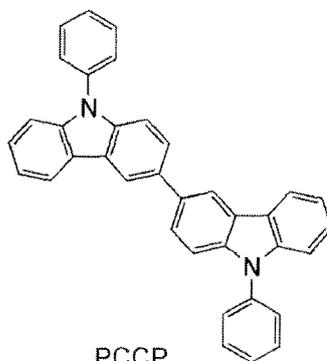
[0298] Es wird davon ausgegangen, dass das Produkt-Ion bei etwa m/z 925,36 ein Kation in einem Zustand ist, in dem Acetylaceton und ein Proton aus der Verbindung mit der Strukturformel (121) eliminiert wurden, und dies ist charakteristisch für den phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplex, der eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist. Es wird davon ausgegangen, dass das Produkt-Ion bei etwa m/z 897,33 aus der Eliminierung von zwei Methylgruppen aus dem Produkt-Ion bei etwa m/z 925,36 resultiert, was darauf hindeutet, dass $[\text{Ir}(\text{tmpptz-dmp})_3]$ (Abkürzung), das der organometallische Iridiumkomplex entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, eine Methylgruppe enthält.

[Beispiel 9]

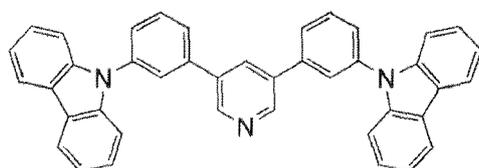
[0299] In diesem Beispiel werden die folgenden lichtemittierenden Elemente beschrieben, die jeweils einen phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplex enthalten, der für eine lichtemittierende Schicht verwendet wird: ein lichtemittierendes Element 4, in dem $\text{Tris}\{2\text{-}[5\text{-}(2\text{-methylphenyl})\text{-}4\text{-}(2,6\text{-diisopropylphenyl})\text{-}4\text{H}\text{-}1,2,4\text{-triazol}\text{-}3\text{-yl-}\kappa\text{N}2\}\text{phenyl-}\kappa\text{C}\}$ iridium(III) (Abkürzung: $[\text{Ir}(\text{mpptz-diPrp})_3]$), dargestellt durch die Strukturformel (105), verwendet wird; ein lichtemittierendes Element 5, in dem $\text{Tris}\{2\text{-}[5\text{-}(2,3\text{-dimethylphenyl})\text{-}4\text{-}(2,6\text{-dimethylphenyl})\text{-}4\text{H}\text{-}1,2,4\text{-triazol}\text{-}3\text{-yl-}\kappa\text{N}2\}\text{phenyl-}\kappa\text{C}\}$ iridium(III) (Abkürzung: $[\text{Ir}(2,3\text{dmpptz-dmp})_3]$), dargestellt durch die Strukturformel (112), verwendet wird; ein lichtemittierendes Element 6, in dem $\text{Tris}\{2\text{-}[4\text{-}(2,6\text{-dimethylphenyl})\text{-}5\text{-}(2,4,6\text{-trimethylphenyl})\text{-}4\text{H}\text{-}1,2,4\text{-triazol}\text{-}3\text{-yl-}\kappa\text{N}2\}\text{phenyl-}\kappa\text{C}\}$ iridium(III) (Abkürzung: $[\text{Ir}(\text{tmpptz-dmp})_3]$), dargestellt durch die Strukturformel (121), verwendet wird; und ein lichtemittierendes Vergleichselement, in dem $\text{Tris}\{2\text{-}[5\text{-}(2\text{-methylphenyl})\text{-}4\text{-methyl-}4\text{H}\text{-}1,2,4\text{-triazol}\text{-}3\text{-yl-}\kappa\text{N}2\}\text{phenyl-}\kappa\text{C}\}$ iridium(III) (Abkürzung: $[\text{Ir}(\text{mpptz-Me})_3]$), verwendet wird. Bei der Beschreibung der lichtemittierenden Elemente 4 bis 6 und des lichtemittierenden Vergleichselements in diesem Beispiel wird auf die **Fig. 13** Bezug genommen, auf die auch in der Beschreibung des lichtemittierenden Elements 1 in Beispiel 1 Bezug genommen wurde. Die chemischen Formeln der Materialien, die in diesem Beispiel verwendet werden, sind im Folgenden angegeben.



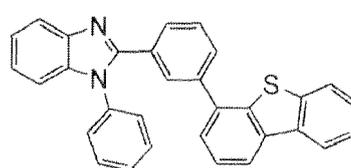
DBT3P-II



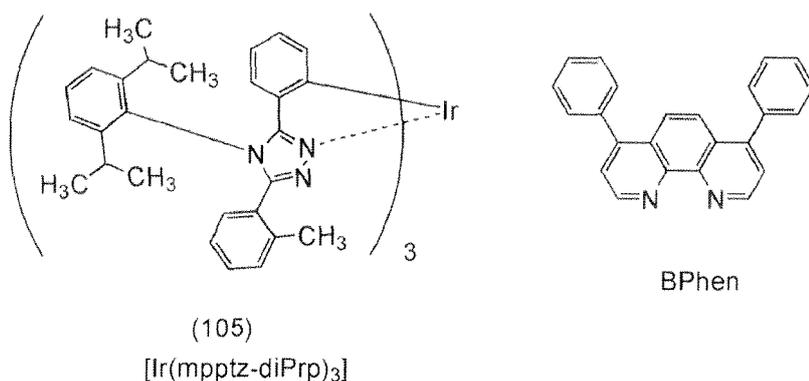
PCCP



35DCzPPy



mDBTBIIm-II



<<Herstellung der lichtemittierenden Elemente 4 bis 6 und des lichtemittierenden Vergleichselements>>

[0300] Zuerst wurde Indiumzinnoxid, enthaltend Siliciumoxid (ITSO), unter Anwendung eines Sputterverfahrens auf dem Glassubstrat **1100** aufgebracht, so dass die erste Elektrode **1101**, die als Anode diente, gebildet wurde. Die Dicke betrug 110 nm und die Elektrodenfläche betrug 2 mm x 2 mm.

[0301] Dann wurde als Vorbehandlung für die Bildung des lichtemittierenden Elements auf dem Substrat **1100** eine UV-Ozonbehandlung über einen Zeitraum von 370 Sekunden durchgeführt, nachdem eine Oberfläche des Substrats mit Wasser gewaschen und das Substrat 1 Stunde lang bei 200°C erwärmt worden war.

[0302] Danach wurde das Substrat in eine Vakuumverdampfungsapparatur überführt, in der der Druck auf etwa 10⁻⁴ Pa verringert worden war, und in einer Heizkammer der Vakuumverdampfungsapparatur 30 Minuten lang im Vakuum bei 170°C erwärmt, und dann wurde das Substrat **1100** über einen Zeitraum von etwa 30 Minuten abgekühlt.

[0303] Dann wurde das Substrat **1100** an einer Haltevorrichtung in der Vakuumverdampfungsapparatur befestigt, so dass eine Oberfläche des Substrats **1100**, auf der die erste Elektrode **1101** aufgebracht worden war, nach unten ausgerichtet war. In diesem Beispiel wird ein Fall beschrieben, bei dem die Lochinjektionsschicht **1111**, die Lochtransportschicht **1112**, die lichtemittierende Schicht **1113**, die Elektronentransportschicht **1114** und die Elektroneninjectionsschicht **1115**, die in der EL Schicht **1102** enthalten sind, nacheinander unter Anwendung eines Vakuumverdampfungsverfahrens aufgebracht werden.

[0304] Nachdem der Druck der Vakuumverdampfungsapparatur auf 10⁻⁴ Pa verringert worden war, wurden 1,3,5-Tri(dibenzothiophen-4-yl)benzol (Abkürzung: DBT3P-II) und Molybdän(VI)oxid co-aufgedampft, wobei das Massenverhältnis von DBT3P-II (Abkürzung) zu Molybdänoxid 4:2 betrug, wobei die Lochinjektionsschicht **1111** auf der ersten Elektrode **1101** gebildet wurde. Die Dicke der Lochinjektionsschicht **1111** betrug 60 nm. Der Ausdruck „co-Aufdampfen“ bezieht sich auf ein Verdampfungsverfahren, bei dem unterschiedliche Substanzen aus unterschiedlichen Verdampfungsquellen gleichzeitig aufgedampft werden.

[0305] Dann wurde 9-Phenyl-9H-3-(9-phenyl-9H-carbazol-3-yl)carbazol (Abkürzung: PCCP) durch Aufdampfen in einer Dicke von 20 nm abgeschieden, wobei die Lochtransportschicht **1112** gebildet wurde.

[0306] Dann wurde die lichtemittierende Schicht **1113** auf der Lochtransportschicht **1112** gebildet.

[0307] Im Fall des lichtemittierenden Elements 4 wurden PCCP (Abkürzung), 3,5-Bis[3-(9H-carbazol-9-yl)phenyl]pyridin (Abkürzung: 35DCzPPy) und Tris{2-[5-(2-methylphenyl)-4-(2,6-diisopropylphenyl)-4H-1,2,4-triazol-3-yl-κN2]phenyl-κC}iridium(III) (Abkürzung: [Ir(mpptzdiPrp)₃]) durch co-Aufdampfen in einer Dicke von 30 nm abgeschieden, wobei das Massenverhältnis von PCCP (Abkürzung) zu 35DCzPPy (Abkürzung) und [Ir(mpptz-diPrp)₃] (Abkürzung) 1:0,3:0,1 betrug. Danach wurden 35DCzPPy (Abkürzung) und [Ir(mpptz-diPrp)₃] (Abkürzung) durch co-Aufdampfen in einer Dicke von 10 nm abgeschieden, wobei das Massenverhältnis von 35DCzPPy (Abkürzung) zu [Ir(mpptz-diPrp)₃] (Abkürzung) 1:0,03 betrug. Auf diese Weise wurde die lichtemittierende Schicht **1113** mit einer Schichtstruktur gebildet.

[0308] Im Fall des lichtemittierenden Elements 5 wurden PCCP (Abkürzung), 3,5-Bis[3-(9H-carbazol-9-yl)phenyl]pyridin (Abkürzung: 35DCzPPy) und [Ir(2,3dmptz-dM_p)₃] (Abkürzung) durch co-Aufdampfen in einer Dicke von 30 nm abgeschieden, wobei das Massenverhältnis von PCCP (Abkürzung) zu 35DCzPPy (Abkürzung)

zung) und $[\text{Ir}(2,3\text{dmpptz-dmp})_3]$ (Abkürzung) 1:0,3:0,1 betrug. Danach wurden 35DCzPPy (Abkürzung) und $[\text{Ir}(2,3\text{dmpptz-dmp})_3]$ (Abkürzung) durch co-Aufdampfen in einer Dicke von 10 nm abgeschieden, wobei das Massenverhältnis von 35DCzPPy (Abkürzung) zu $[\text{Ir}(2,3\text{dmpptz-dmp})_3]$ (Abkürzung) 1:0,06 betrug. Auf diese Weise wurde die lichtemittierende Schicht **1113** mit einer Schichtstruktur gebildet.

[0309] Im Fall des lichtemittierenden Elements 6 wurden PCCP (Abkürzung), 3,5-Bis[3-(9H-carbazol-9-yl)phenyl]pyridin (Abkürzung: 35DCzPPy) und $[\text{Ir}(\text{tmpptz-dm}_p)_3]$ (Abkürzung) durch co-Aufdampfen in einer Dicke von 30 nm abgeschieden, wobei das Massenverhältnis von PCCP (Abkürzung) zu 35DCzPPy (Abkürzung) und $[\text{Ir}(\text{tmpptz-dm}_p)_3]$ (Abkürzung) 1:0,3:0,06 betrug. Danach wurden 35DCzPPy (Abkürzung) und $[\text{Ir}(\text{tmpptz-dm}_p)_3]$ (Abkürzung) durch co-Aufdampfen in einer Dicke von 10 nm abgeschieden, wobei das Massenverhältnis von 35DCzPPy (Abkürzung) zu $[\text{Ir}(\text{tmpptz-dm}_p)_3]$ (Abkürzung) 1:0,06 betrug. Auf diese Weise wurde die lichtemittierende Schicht **1113** mit einer Schichtstruktur gebildet.

[0310] Im Fall des lichtemittierenden Vergleichselements wurden PCCP (Abkürzung), 3,5-Bis[3-(9H-carbazol-9-yl)phenyl]pyridin (Abkürzung: 35DCzPPy) und $[\text{Ir}(\text{mpptz-Me})_3]$ (Abkürzung) durch co-Aufdampfen in einer Dicke von 30 nm abgeschieden, wobei das Massenverhältnis von PCCP (Abkürzung) zu 35DCzPPy (Abkürzung) und $[\text{Ir}(\text{mpptz-Me})_3]$ (Abkürzung) 1:0,3:0,06 betrug. Danach wurden 35DCzPPy (Abkürzung) und $[\text{Ir}(\text{mpptz-Me})_3]$ (Abkürzung) durch co-Aufdampfen in einer Dicke von 10 nm abgeschieden, wobei das Massenverhältnis von 35DCzPPy (Abkürzung) zu $[\text{Ir}(\text{mpptz-Me})_3]$ (Abkürzung) 1:0,06 betrug. Auf diese Weise wurde die lichtemittierende Schicht **1113** mit einer Schichtstruktur gebildet.

[0311] Dann wurde auf der lichtemittierenden Schicht **1113** 3,5-Bis[3-(9H-carbazol-9-yl)phenyl]-pyridin (Abkürzung: 35DCzPPy) durch Aufdampfen in einer Dicke von 10 nm abgeschieden (im Fall des lichtemittierenden Elements 5 wurde 2-[3-(Dibenzothiophen-4-yl)phenyl]-1-phenyl-1H-benzimidazol (Abkürzung: mDBT-BIm-II) anstelle von 35DCzPPy (Abkürzung) abgeschieden), und dann wurde Bathophenanthrolin (Abkürzung: Bphen) durch Aufdampfen in einer Dicke von 15 nm abgeschieden, wobei die Elektronentransportschicht **1114** gebildet wurde. Auf der Elektronentransportschicht **1114** wurde weiterhin Lithiumfluorid durch Aufdampfen in einer Dicke von 1 nm abgeschieden, um die Elektroneninjektionsschicht **1115** zu bilden.

[0312] Zuletzt wurde Aluminium durch Aufdampfen in einer Dicke von 200 nm auf der Elektroneninjektionsschicht **1115** abgeschieden, um eine zweite Elektrode **1103** zu bilden, die als Kathode diente; auf diese Weise wurden die lichtemittierenden Elemente 4 bis 6 und das lichtemittierende Vergleichselement erhalten. Bei allen zuvor genannten Aufdampfungsschritten wurde das Verdampfen durch Widerstandserwärmen durchgeführt.

[0313] Die Elementstruktur der lichtemittierenden Elemente 4 bis 6 und die des lichtemittierenden Vergleichselements, die wie zuvor beschrieben erhalten worden waren, sind in der Tabelle 7 angegeben.

[Tabelle 7]

	erste Elektrode	Lochinjektions-Schicht	Lochtransport-schicht	lichtemittierende Schicht		Elektronentransport-schicht		Elektroneninjektions-schicht	zweite Elektrode
lichtemittierendes Element 4	ITSO (110 nm)	DBT3P-II: MoO _x (4: 2 60 nm)	PCCP (20 nm)	*1	*2	35DCz-PPy (10 nm)	Bphen (15 nm)	LiF (1 nm)	Al (200 nm)
lichtemittierendes Element 5	ITSO (110 nm)	DBT3P-II: MoO _x (4: 2 60 nm)	PCCP (20 nm)	*3	*4	mDBT-BIm-11 (10 nm)	Bphen (15 nm)	LiF (1 nm)	Al (200 nm)
lichtemittierendes Element 6	ITSO (110 nm)	DBT3P-II: MoO _x (4: 2 60 nm)	PCCP (20 nm)	*5	*6	35DCz-PPy (10 nm)	Bphen (15 nm)	LiF (1 nm)	Al (200 nm)
lichtemittierendes Vergleichselement	ITSO (110 nm)	DBT3P-II: MoO _x (4: 2 60 nm)	PCCP (20 nm)	*7	*8	35DCz-PPy (10 nm)	Bphen (15 nm)	LiF (1 nm)	Al (200 nm)

- *1 PCCP: 35DCzPPy : [Ir(mpptz-diPrp)₃] (1 : 0,3: 0,1 30 nm)
 *2 35DCzPPy : [Ir(mpptz-diPrp)₃] (1 : 0,03 10 nm)
 *3 PCCP : 35DCzPPy : [Ir(2,3dmpptz-dmp)₃] (1 : 0,3: 0,1 30 nm)
 *4 35DCzPPy : [Ir(2,3dmpptz-dmp)₃] (1: 0,06 10 nm)
 *5 PCCP : 35DCzPPy : [Ir(tmpptz-dmp)₃] (1: 0,3: 0,06 30 nm)
 *6 35DCzPPy : [Ir(tmpptz-dmp)₃] (1: 0,06 10 nm)
 *7 PCCP : 35DCzPPy : [Ir(mpptz-Me)₃] (1 : 0,3: 0,06 30 nm)
 *8 35DCzPPy : [Ir(mpptz-Me)₃] (1: 0,06 10 nm)

[0314] Die hergestellten lichtemittierenden Elemente 4 bis 6 und das lichtemittierende Vergleichselement wurden dann in einer Glovebox, die eine Stickstoffatmosphäre enthielt, versiegelt, so dass sie nicht mit der Luft in Kontakt kamen (genauer gesagt, ein Versiegelungsmittel wurde auf die äußere Kante jedes Elements aufgebracht, und das Element wurde 1 Stunde lang bei 80°C erwärmt, um das Element zu versiegeln).

<<Betriebseigenschaften der lichtemittierenden Elemente
4 bis 6 und des lichtemittierenden Vergleichselements>>

[0315] Die Betriebseigenschaften der hergestellten lichtemittierenden Elemente 4 bis 6 und des lichtemittierenden Vergleichselements wurden gemessen. Die Messungen wurden bei Raumtemperatur (unter einer Atmosphäre, in der die Temperatur bei 25°C gehalten wurde) durchgeführt.

[0316] Die **Fig. 46** zeigt die Beziehung Stromdichte-Leuchtdichte der lichtemittierenden Elemente 4 bis 6 und des lichtemittierenden Vergleichselements. In der **Fig. 46** gibt die vertikale Achse die Leuchtdichte (cd/m²) an, und die horizontale Achse gibt die Stromdichte (mA/cm²) an. Die **Fig. 47** zeigt die Beziehung Spannung-Leuchtdichte der lichtemittierenden Elemente 4 bis 6 und des lichtemittierenden Vergleichselements. In der **Fig. 47** gibt die vertikale Achse die Leuchtdichte (cd/m²) an, und die horizontale Achse gibt die Spannung (V) an. Die **Fig. 48** zeigt die Beziehung Leuchtdichte-Stromausbeute der lichtemittierenden Elemente 4 bis 6 und des lichtemittierenden Vergleichselements. In der **Fig. 48** gibt die vertikale Achse die Stromausbeute (cd/A) an, und die horizontale Achse gibt die Leuchtdichte (cd/m²) an. Die **Fig. 49** zeigt die Beziehung Spannung-Strom der lichtemittierenden Elemente 4 bis 6 und des lichtemittierenden Vergleichselements. In der **Fig. 49** gibt die vertikale Achse den Strom (mA) an, und die horizontale Achse gibt die Spannung (V) an. Die **Fig. 50** zeigt die Beziehung Leuchtdichte-Farbkoordinaten der lichtemittierenden Elemente 4 bis 6 und des lichtemittierenden Vergleichselements. In der **Fig. 50** gibt die vertikale Achse die Farbkoordinaten an, und die horizontale Achse gibt die Leuchtdichte (cd/m²) an.

[0317] Die **Fig. 48** veranschaulicht die hohe Effizienz der lichtemittierenden Elemente 4 bis 6, die jeweils, als Teil der lichtemittierenden Schichten, [Ir(mpptz-diPrp)₃] (Abkürzung), dargestellt durch die Strukturformel (105), [Ir(2,3dmpptz-dmp)₃] (Abkürzung), dargestellt durch die Strukturformel (112), und [Ir(tmpptz-dmp)₃] (Abkürzung), dargestellt durch die Strukturformel (121), enthalten, welche die phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplexe entsprechend Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung sind. Die Tabelle 8 zeigt die Anfangswerte der Haupteigenschaften der lichtemittierenden Elemente 4 bis 6 und des lichtemittierenden Vergleichselements bei einer Leuchtdichte von etwa 1000 cd/m².

[Tabelle 8]

	Spannung (V)	Strom (mA)	Stromdichte (mA/cm ²)	Farbkoordinaten (x, y)	Leuchtdichte (cd/m ²)	Stromausbeute (cd/A)	Energieeffizienz (lm/W)	Quanteneffizienz (%)
lichtemittierendes Element 4	4,8	0,08	2,1	(0,19, 0,34)	740	36	23	16
lichtemittierendes Element 5	4,8	0,09	2,3	(0,21, 0,39)	1000	45	30	20
lichtemittierendes Element 6	5,0	0,12	3,1	(0,19, 0,31)	980	32	20	15

	Spannung (V)	Strom (mA)	Stromdichte (mA/cm ²)	Farbkoordinaten (x, y)	Leuchtdichte (cd/m ²)	Stromausbeute (cd/A)	Energieeffizienz (lm/W)	Quanteneffizienz (%)
lichtemittierendes Vergleichselement	8,0	9,5	240	(0,18, 0,23)	390	0,17	0,065	0,090

[0318] Die zuvor angegebenen Ergebnisse zeigen, dass die lichtemittierenden Elemente 4 bis 6, die in diesem Beispiel hergestellt wurden, lichtemittierende Elemente mit einer hohen Leuchtdichte und einer hohen Stromausbeute sind. In Fall des lichtemittierenden Vergleichselements zeigt die Beziehung Leuchtdichte-Stromausbeute eine niedrige Stromausbeute, obwohl die Beziehung Spannung-Strom zeigt, dass in der lichtemittierenden Schicht eine Rekombination stattfindet. Dies belegt, dass ein phosphoreszierender organometallischer Iridiumkomplex, dessen Ligand eine 4H-1,2,4-Triazolverbindung mit einer substituierten oder unsubstituierten Phenylgruppe in der 4-Position ist, der eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, bessere lichtemittierende Eigenschaften hat und bevorzugter als ein phosphoreszierender organometallischer Iridiumkomplex ist, dessen Ligand eine 4H-1,2,4-Triazolverbindung mit einer Methylgruppe in der 4-Position ist. Es zeigte sich weiterhin, dass die lichtemittierenden Elemente blau-grünes Licht emittieren.

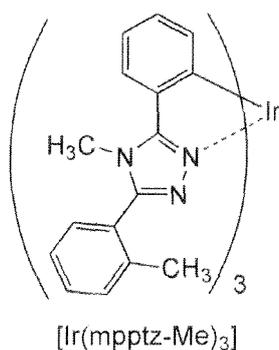
[0319] Die **Fig. 51** zeigt Emissionsspektren, die erhalten wurden, wenn ein Strom mit einer Stromdichte von 0,1 mA/cm² an die lichtemittierenden Elemente 4 bis 6 und an das lichtemittierende Vergleichselement angelegt wurde. Das Emissionsspektrum des lichtemittierenden Elements 4 hat, wie in der **Fig. 51** gezeigt, ein Peakmaximum bei 473 nm; das Emissionsspektrum des lichtemittierenden Elements 5 hat ein Peakmaximum bei 472 nm; und das Emissionsspektrum des lichtemittierenden Elements 6 hat ein Peakmaximum bei 470 nm. Es wird davon ausgegangen, dass die Peaks von der Emission der phosphoreszierenden organometallischen Iridiumkomplexe stammen, die in den lichtemittierenden Elementen enthalten sind.

[0320] Ein Vergleich zwischen dem lichtemittierenden Element 4 und dem lichtemittierenden Element 5 zeigt, dass die Peaks der Emissionsspektren im Wesentlichen bei der gleichen Wellenlänge liegen, aber der Blauanteil des Lichts, das vom lichtemittierenden Element 4 emittiert wird, ist höher. Der Grund dafür ist der, dass die Halbbreite des Spektrums des lichtemittierenden Elements 5 74 nm beträgt, während die Halbbreite des Spektrums des lichtemittierenden Elements 4 nur 67 nm beträgt. Deshalb ist es bevorzugt, dass mindestens einer der Reste R⁶ bis R¹⁰ in der allgemeinen Formel (G1) eine Alkylgruppe mit 2 oder mehr Kohlenstoffatomen ist, und besonders bevorzugt eine Isopropylgruppe, damit die Halbbreite des Emissionsspektrums verringert werden kann und auf diese Weise eine verbesserte Farbreinheit erhalten wird.

[0321] Die Halbbreite des Spektrums des lichtemittierenden Elements 6 ist ebenfalls gering und die Farbreinheit ist hervorragend. Deshalb ist es bevorzugt, dass jeder der Reste R¹ und R⁵ in der allgemeinen Formel (G1) eine Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen ist, und besonders bevorzugt eine Methylgruppe, damit die Halbbreite des Emissionsspektrums verringert werden kann und auf diese Weise eine verbesserte Farbreinheit erhalten wird.

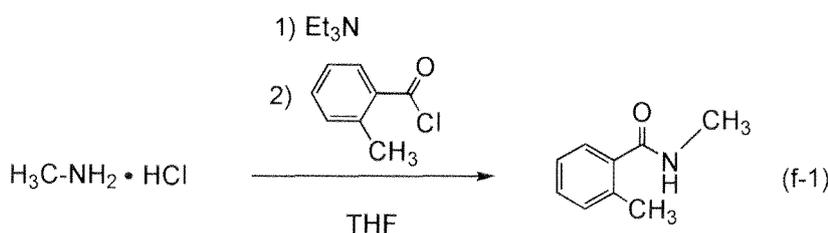
<<Referenzsynthesebeispiel>>

[0322] In diesem Referenzsynthesebeispiel wird die Herstellung von Tris{2-[5-(2-methylphenyl)-4-methyl-4H-1,2,4-triazol-3-yl-κN2]phenyl-κC}iridium(III) (Abkürzung: [Ir(mpptz-Me)₃]) beschrieben, das der phosphoreszierende organometallische Iridiumkomplex mit der im Folgenden angegebenen Strukturformel ist, der in dem lichtemittierenden Vergleichselement in Beispiel 9 verwendet wurde.



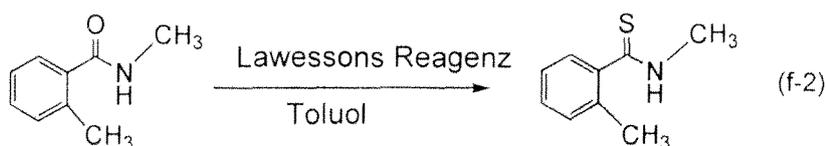
(Schritt 1: Herstellung von N-Methyl-o-toluylamid)

[0323] Zuerst wurden 12,5 g (185,1 mMol) Methylaminhydrochlorid, 150 ml THF und 60 ml Triethylamin in einen 500 ml Dreihalskolben gegeben und 30 Minuten lang bei Raumtemperatur gerührt. Dann wurden 26,0 g (187,6 mMol) o-Toluylchlorid tropfenweise zugegeben, und das Gemisch wurde 24 Stunden lang unter einem Stickstoffstrom bei Raumtemperatur gerührt. Nachdem die Umsetzung über einen vorher festgelegten Zeitraum durchgeführt worden war, wurde der ausgefallene Niederschlag durch Abfiltrieren bei Unterdruck entfernt. Das erhaltene Filtrat wurde mit reinem Wasser gewaschen und dann mit Magnesiumsulfat getrocknet. Das Magnesiumsulfat wurde unter dem Einfluss der Schwerkraft abfiltriert und entfernt, und das Filtrat wurde aufkonzentriert, wobei eine gelbe Flüssigkeit erhalten wurde. Diese gelbe Flüssigkeit wurde mittels Silicagel-Säulenchromatographie gereinigt: zuerst wurde Dichlormethan als Laufmittel verwendet und Nebenprodukte wurden entfernt; und dann wurde das Laufmittel durch Ethylacetat ersetzt, und die gewünschte Substanz wurde gesammelt. Die erhaltene Fraktion wurde aufkonzentriert, wobei 16,7 g eines weißen Feststoffes von N-Methyl-o-toluylamid in einer Ausbeute von 61% erhalten wurden. Das Syntheschema von Schritt 1 ist in (f-1) angegeben.



(Schritt 2: Herstellung von N-Methyl-o-toluylthioamid)

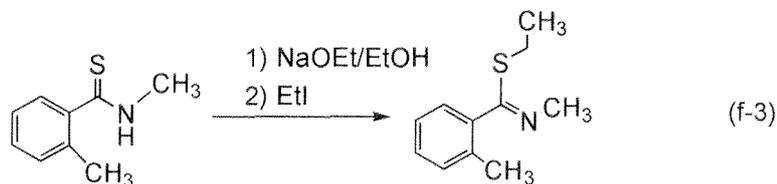
[0324] Dann wurden 16,1 g (108,0 mMol) N-Methyl-o-toluylamid, erhalten in Schritt 1, 25,0 g (61,8 mMol) Lawessons Reagenz und 150 ml Toluol in einen 500 ml Dreihalskolben gegeben und 6 Stunden lang bei 120°C erwärmt und gerührt. Die Reaktionslösung wurde aufkonzentriert, wobei eine ölige Substanz erhalten wurde. Diese ölige Substanz wurde mittels Silicagel-Chromatographie gereinigt. Dabei wurde Dichlormethan als Laufmittel verwendet. Die erhaltene Fraktion wurde aufkonzentriert, wobei 16,0 g eines weißen Feststoffes von N-Methyl-o-toluylthioamid in einer Ausbeute von 90% erhalten wurden. Das Syntheschema von Schritt 2 ist in (f-2) angegeben.



(Schritt 3: Herstellung von N-[(Ethylsulfanyl)(2-methylphenyl)methyliden]methylamin)

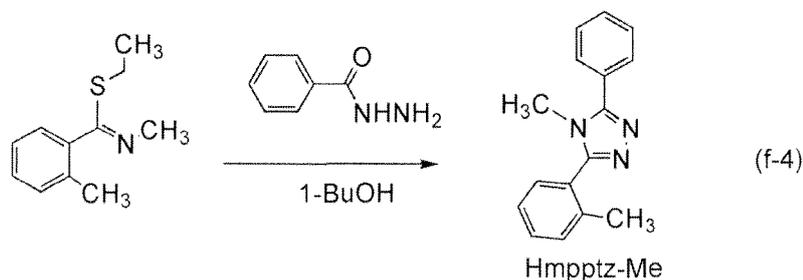
[0325] In einen 200 ml Dreihalskolben wurden 8,0 g (48,4 mMol) N-Methyl-o-toluylthioamid, erhalten in Schritt 2, 3,6 g (53,3 mMol) Natriumethoxid und 100 ml Ethanol (EtOH) gegeben, und das Gemisch wurde 1 Stunde lang bei Raumtemperatur gerührt. Zu dieser gemischten Lösung wurden 8,0 g (51,2 mMol) Iodethan gegeben, und das Gemisch wurde 15 Stunden lang bei 60°C erwärmt und gerührt. Die Reaktionslösung wurde aufkon-

zentriert, wobei eine ölige Substanz erhalten wurde. Diese ölige Substanz wurde in Dichlormethan gelöst, und dann mit Wasser und danach mit einer gesättigten wässrigen Lösung von Natriumhydrogencarbonat gewaschen. Nach dem Waschen wurde die organische Schicht mit Magnesiumsulfat getrocknet. Das erhaltene Gemisch wurde unter dem Einfluss der Schwerkraft abfiltriert, und das Filtrat wurde aufkonzentriert; auf diese Weise wurde ein Rohprodukt von N-[(Ethylsulfanyl)(2-methylphenyl)methyliden]methylamin als gelbe Flüssigkeit erhalten. In dem folgenden Schritt wurde diese gelbe Flüssigkeit als solche verwendet. Das Syntheschema von Schritt 3 ist in (f-3) angegeben.



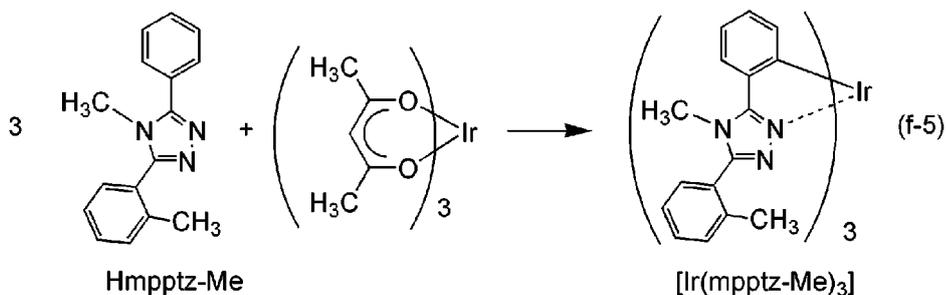
(Schritt 4: Herstellung von 3-(2-Methylphenyl)-4-methyl-5-phenyl-4H-1,2,4-triazol (Abkürzung: Hmpptz-Me))

[0326] In einen 100 ml Dreihalskolben wurden die gesamte Menge an N-[(Ethylsulfanyl)(2-methylphenyl)methyliden]methylamin, die in Schritt 3 erhalten worden war, 7,0 g (51,4 mMol) Benzoylhydrazin und 30 ml 1-Butanol (1-BuOH) gegeben, und das Gemisch wurde 15 Stunden lang bei 120°C erwärmt und gerührt. Nachdem die Umsetzung über einen vorher festgelegten Zeitraum durchgeführt worden war, wurde das Lösungsmittel abdestilliert, wobei eine gelbe Flüssigkeit erhalten wurde. Diese Flüssigkeit wurde mittels Silicagel-Chromatographie gereinigt. Dabei wurde Ethylacetat als Laufmittel verwendet. Die erhaltene Fraktion wurde aufkonzentriert, wobei ein weißer Feststoff erhalten wurde. Dieser Feststoff wurde mit Ethylacetat umkristallisiert, wobei 7,0 g eines weißen Feststoffes von Hmpptz-Me (Abkürzung), welches das gewünschte 4H-Triazolderivat war, in einer Ausbeute von 58% erhalten wurden. Das Syntheschema von Schritt 4 ist in (f-4) angegeben.



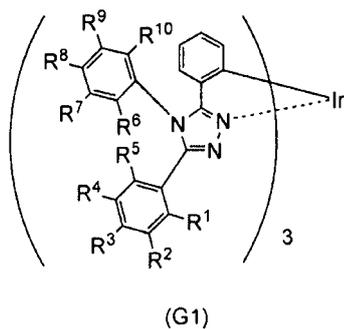
(Schritt 5: Herstellung von Tris{2-[5-(2-methylphenyl)-4-methyl-4H-1,2,4-triazol-3-yl-κN2]-phenyl-κC}iridium(III) (Abkürzung: [Ir(mpptz-Me)₃])

[0327] In einen Behälter zum Erwärmen auf eine hohe Temperatur wurden 3,0 g (12,0 mMol) Hmpptz-Me (Abkürzung), das der in Schritt 4 erhaltene Ligand war, und 1,2 g (2,4 mMol) Tris(acetylacetonato)iridium(III) gegeben, und eine Entgasung wurde durchgeführt. Das Gemisch in dem Reaktionsbehälter wurde 48 Stunden lang unter einem Argonstrom bei 250°C erwärmt und gerührt. Das Reaktionsgemisch wurde chromatographisch mit einem Amin-modifizierten Silicagel gereinigt. Dabei wurde als Laufmittel ein gemischtes Lösungsmittel aus Hexan und Ethylacetat in einem Verhältnis von 1:2 verwendet. Die erhaltene Fraktion wurde aufkonzentriert, wobei eine gelbe ölige Substanz erhalten wurde. Diese ölige Substanz wurde mit einem gemischten Lösungsmittel aus Ethylacetat und Hexan umkristallisiert, wobei 65,0 mg eines gelben Feststoffes von [Ir(mpptz-Me)₃] (Abkürzung), das der organometallische Komplex entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, in einer Ausbeute von 3% erhalten wurden. Das Syntheschema von Schritt 5 ist in (f-5) angegeben.



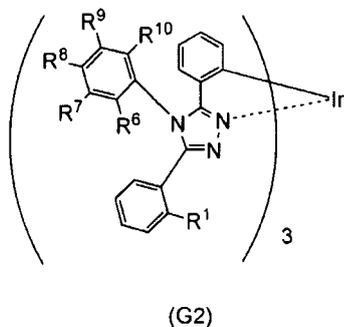
Patentansprüche

1. Komplex, umfassend eine Struktur, die durch die Formel (G1) dargestellt wird:

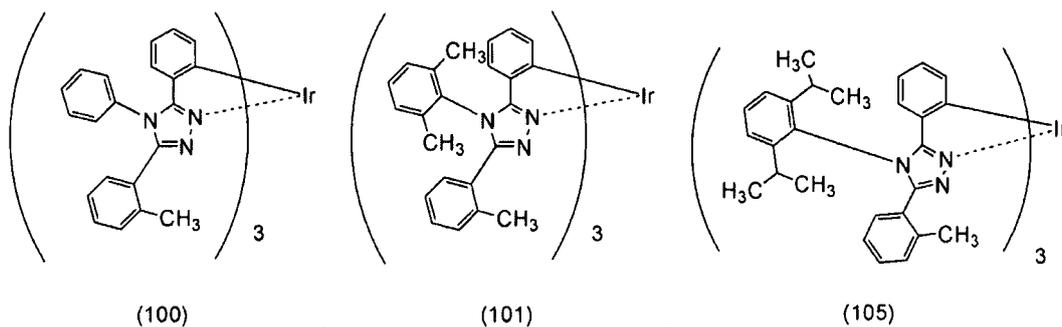


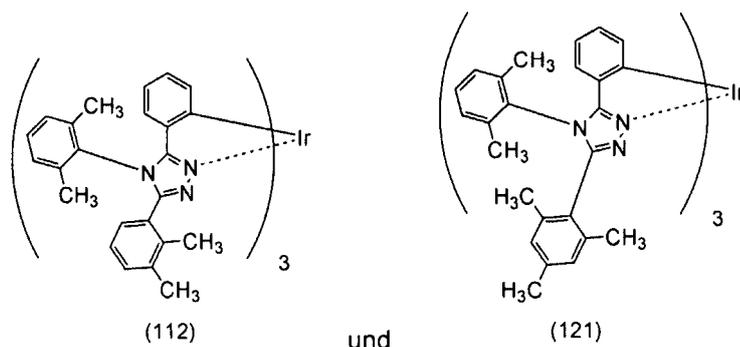
worin R¹ eine Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen darstellt; und wobei R² bis R¹⁰ unabhängig voneinander Wasserstoff oder eine Alkylgruppe mit 1 bis 6 Kohlenstoffatomen darstellen.

2. Komplex nach Anspruch 1, wobei der Komplex durch die Formel (G2) dargestellt wird:



3. Komplex nach Anspruch 1, wobei der Komplex durch eine der Formeln (100), (101), (105), (112) und (121) dargestellt wird:





4. Lichtemittierende Vorrichtung, umfassend den Komplex nach einem der Ansprüche 1 bis 3.
5. Lichtemittierende Vorrichtung, umfassend eine lichtemittierende Schicht, wobei die lichtemittierende Schicht den Komplex nach einem der Ansprüche 1 bis 3 und eine erste organische Verbindung umfasst.
6. Lichtemittierende Vorrichtung nach Anspruch 5, wobei die erste organische Verbindung aus einem aromatischen Amin, einem Carbazolderivat, einer Stickstoff enthaltenden heterocyclischen Verbindung, einem Thiophenderivat, einem Furanderivat und einem Metallkomplex ausgewählt ist.
7. Lichtemittierende Vorrichtung nach Anspruch 5, weiterhin umfassend eine zweite organische Verbindung in der lichtemittierenden Schicht, wobei die erste organische Verbindung eine Stickstoff enthaltende heteroaromatische Verbindung ist; und wobei die zweite organische Verbindung aus einem Carbazolderivat, einem Indolderivat und einem aromatischen Amin ausgewählt ist.
8. Lichtemittierende Vorrichtung, umfassend eine erste lichtemittierende Schicht und eine zweite lichtemittierende Schicht auf der ersten lichtemittierenden Schicht, wobei die erste lichtemittierende Schicht einen ersten Komplex, eine erste Verbindung und eine zweite Verbindung umfasst; wobei die zweite lichtemittierende Schicht einen zweiten Komplex und die erste Verbindung umfasst; und wobei sowohl der erste Komplex als auch der zweite Komplex der Komplex nach einem der Ansprüche 1 bis 3 ist.
9. Lichtemittierende Vorrichtung nach Anspruch 8, wobei die erste Verbindung eine Stickstoff enthaltende heteroaromatische Verbindung ist; und wobei die zweite Verbindung aus einem Carbazolderivat, einem Indolderivat und einem aromatischen Amin ausgewählt ist.
10. Lichtemittierende Vorrichtung nach Anspruch 8, wobei der erste Komplex und der zweite Komplex voneinander verschieden sind.
11. Elektronische Vorrichtung, umfassend die lichtemittierende Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 10.
12. Beleuchtungsvorrichtung, umfassend die lichtemittierende Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 10.

Es folgen 39 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

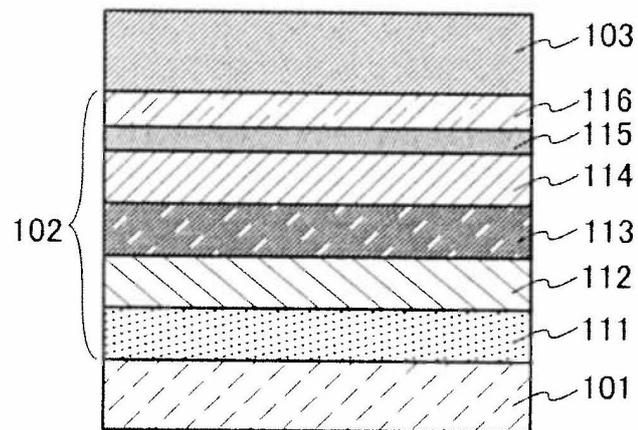


FIG. 2

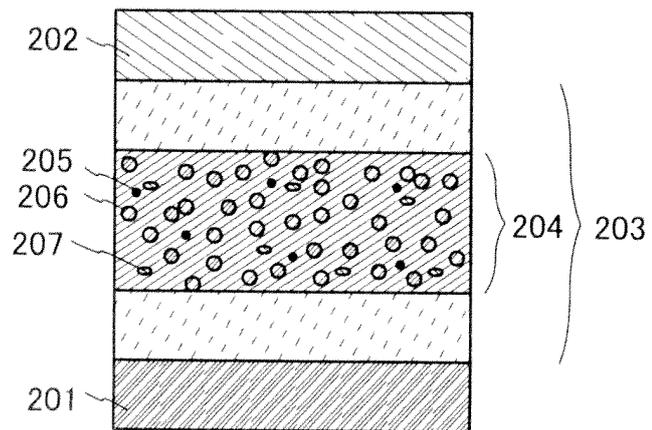


FIG. 3A

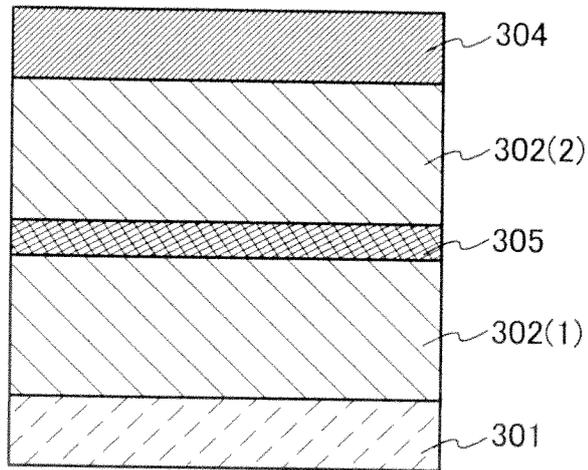


FIG. 3B

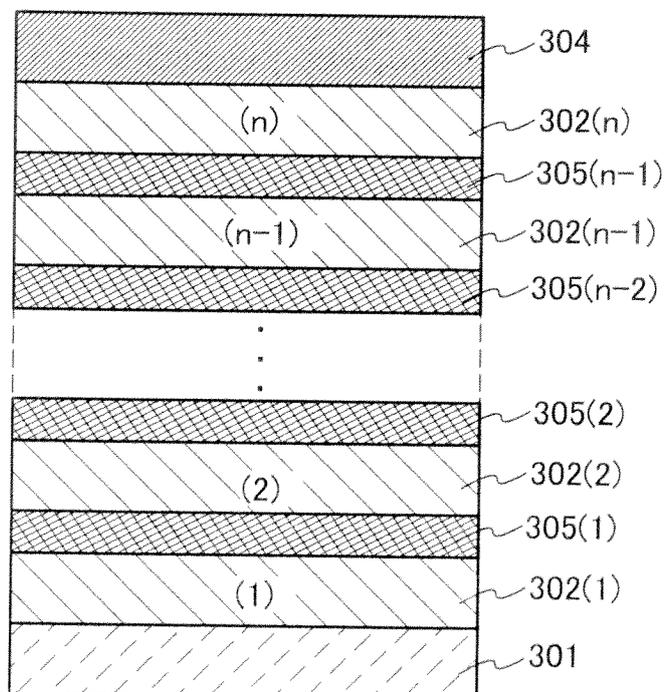


FIG. 4

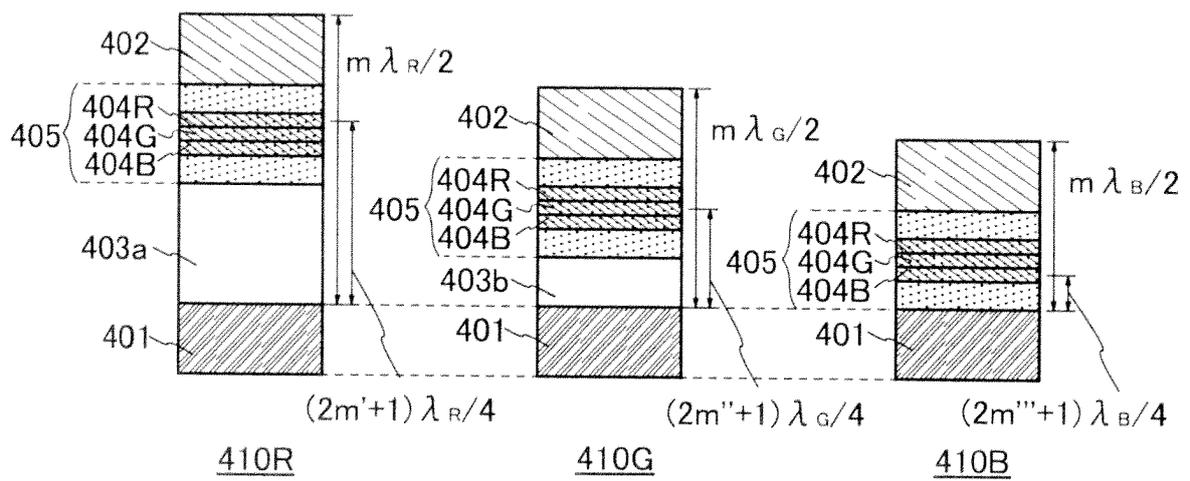


FIG. 5A

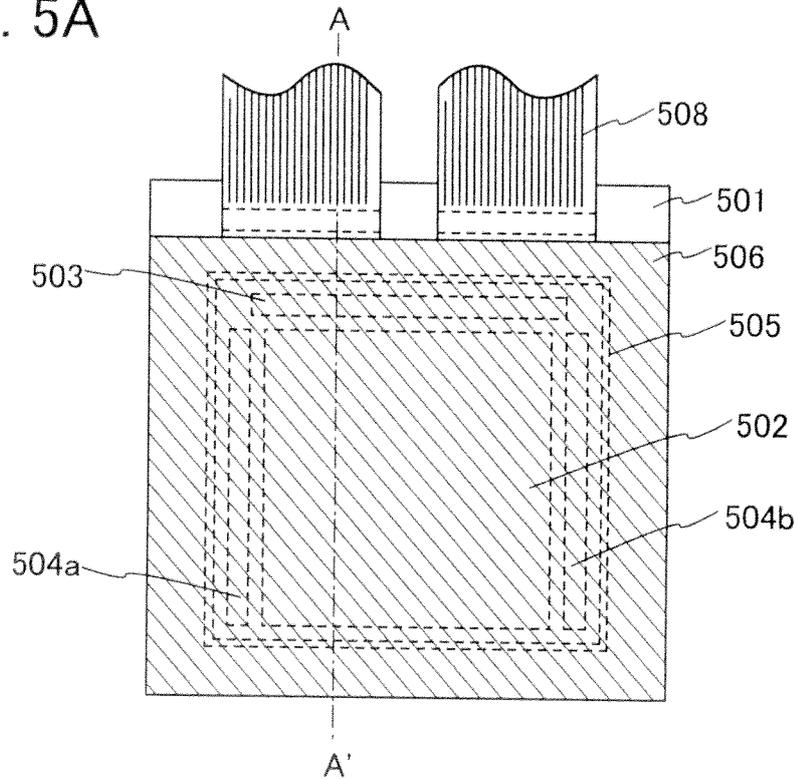


FIG. 5B

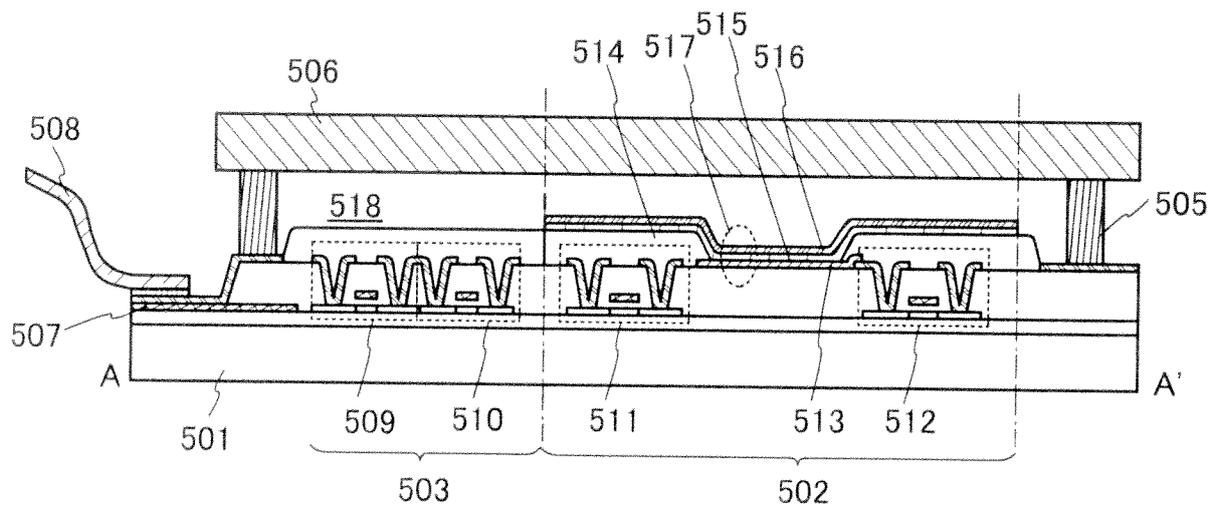


FIG. 6A

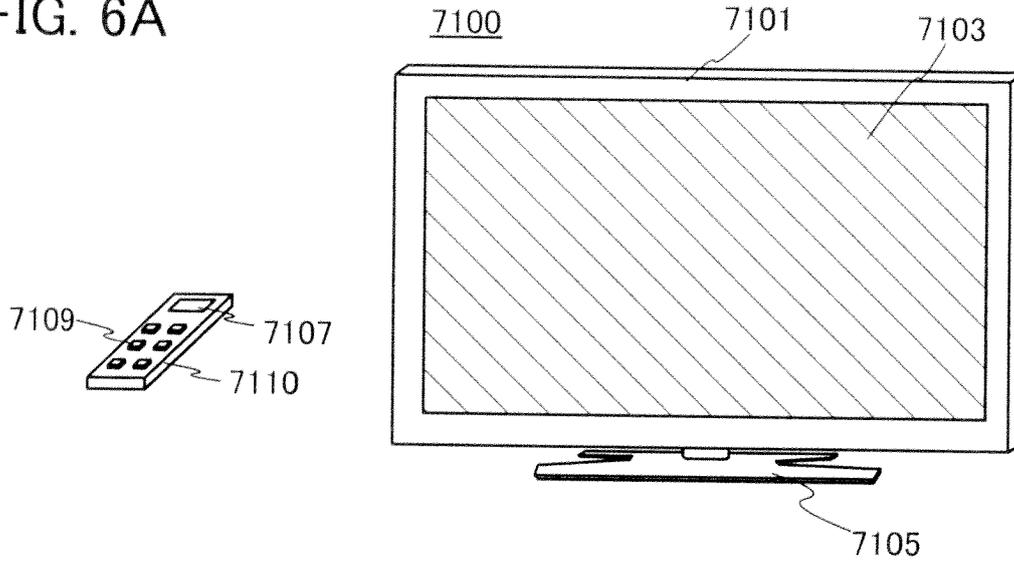


FIG. 6B

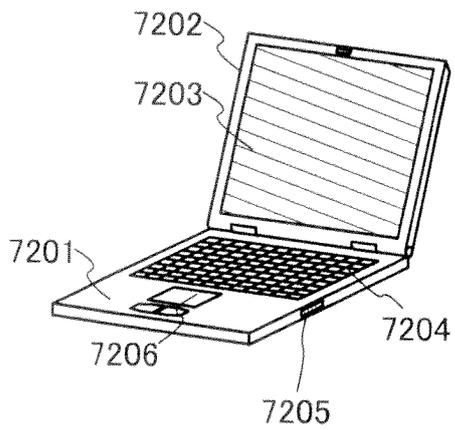


FIG. 6C

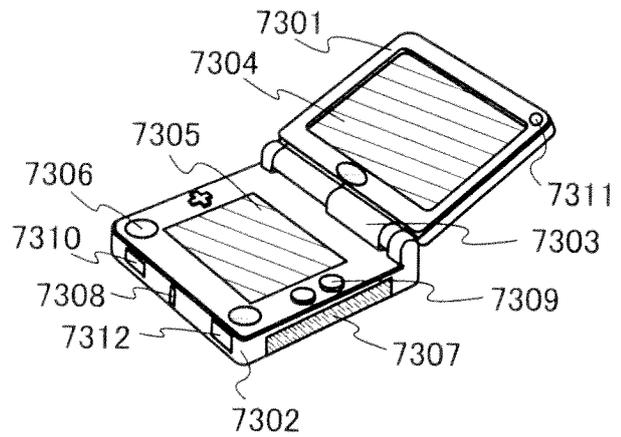


FIG. 6D

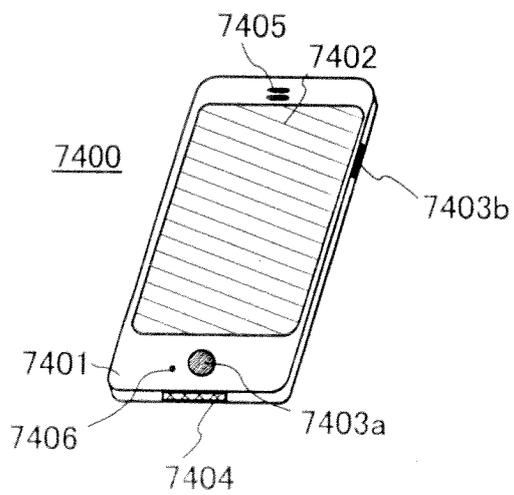


FIG. 7A

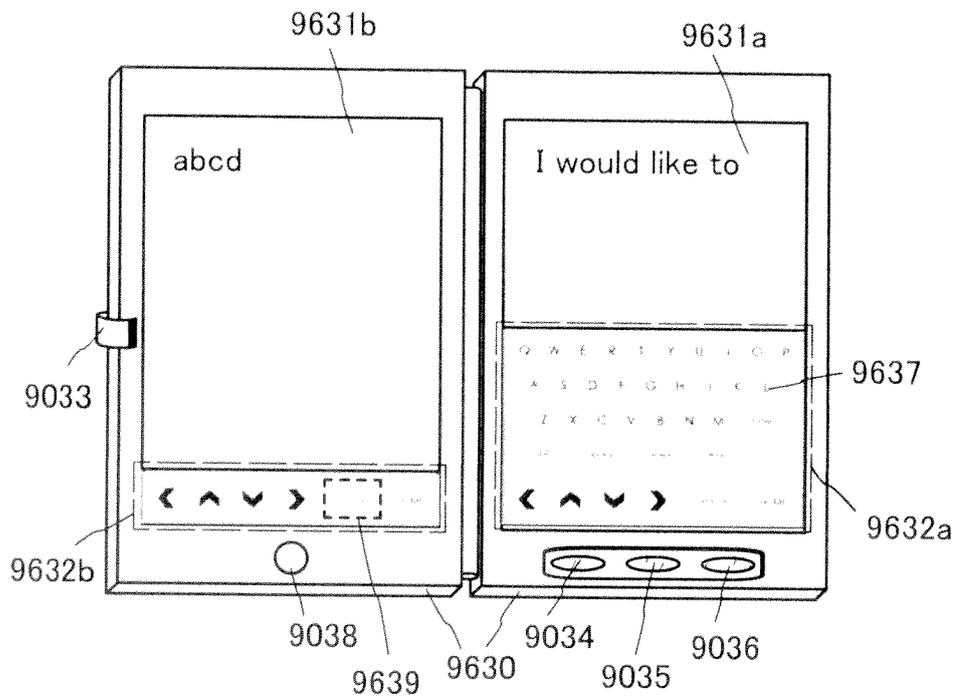


FIG. 7B

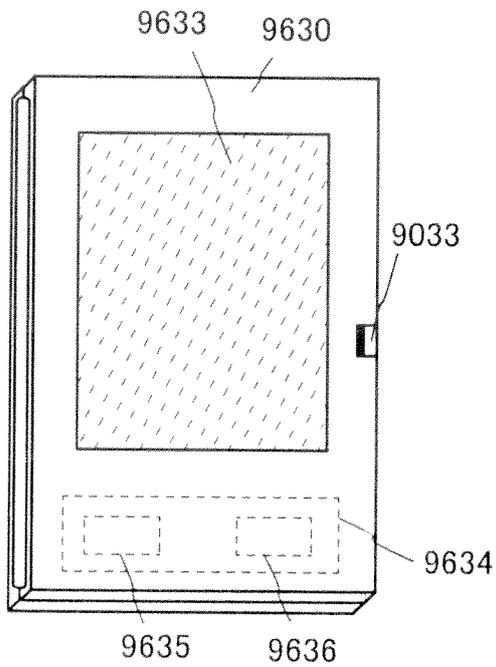


FIG. 7C

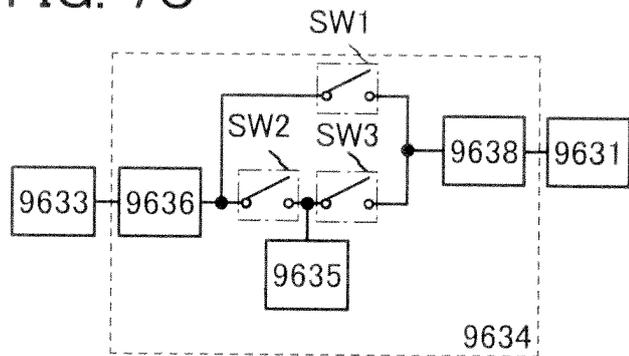


FIG. 8

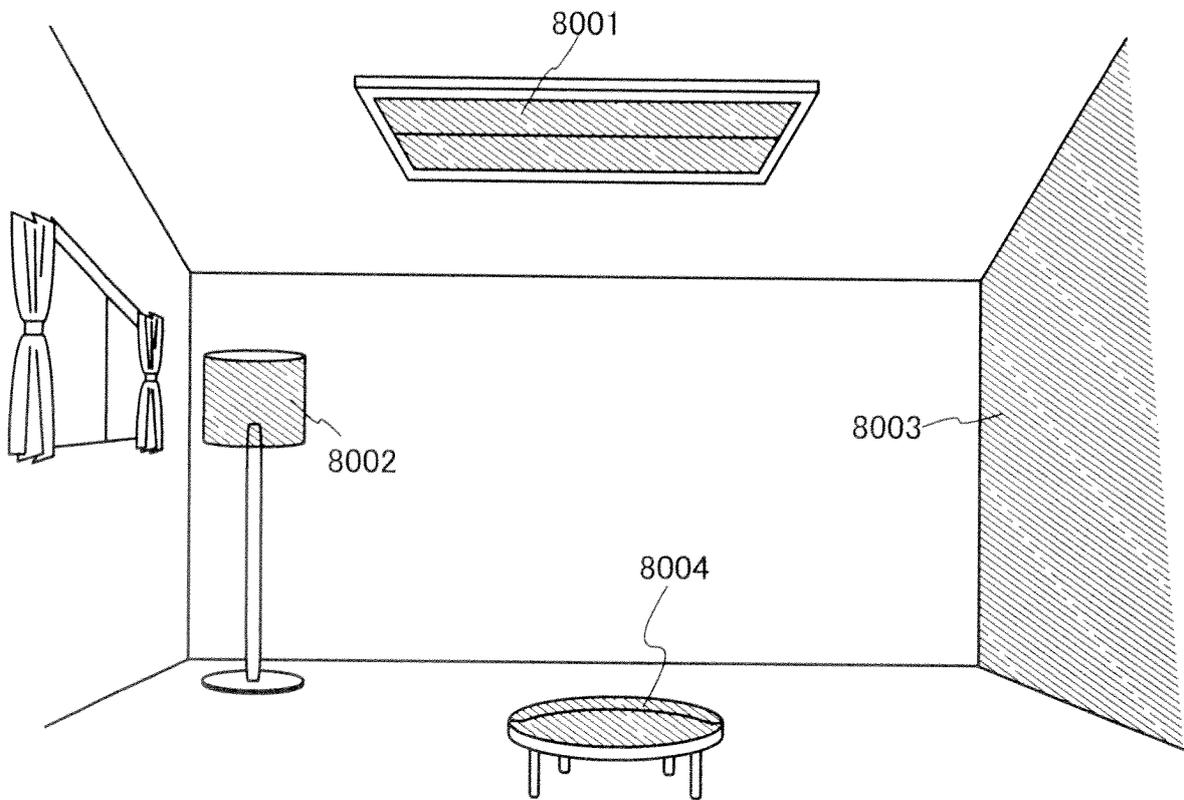


FIG. 9

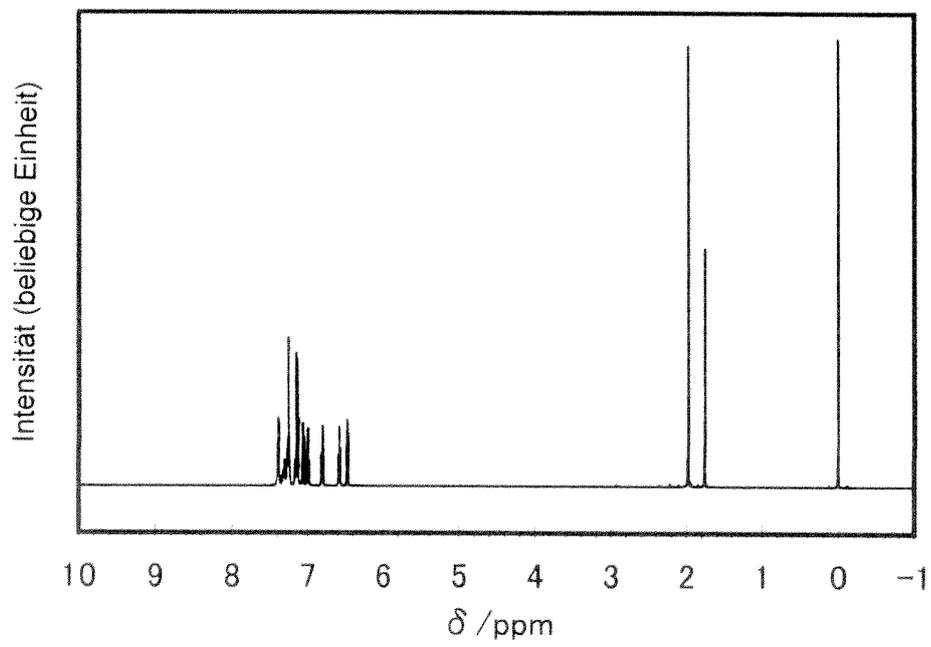


FIG. 10

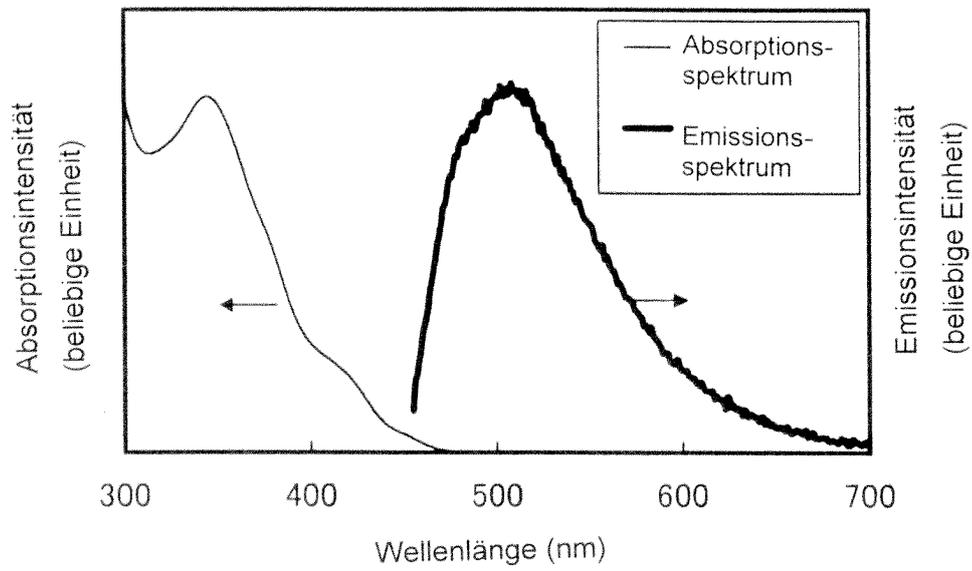


FIG. 11

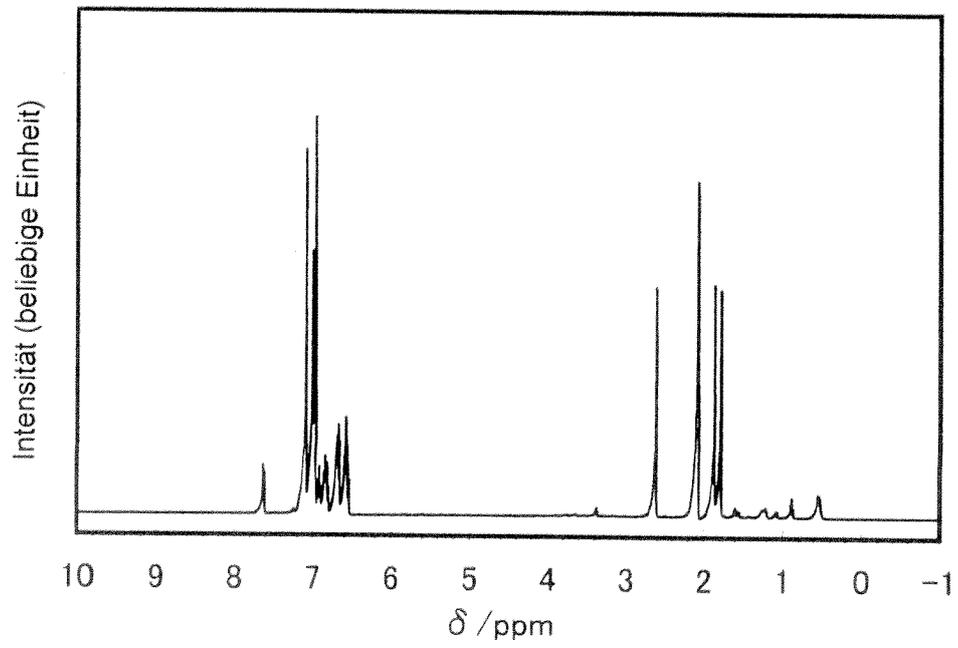


FIG. 12

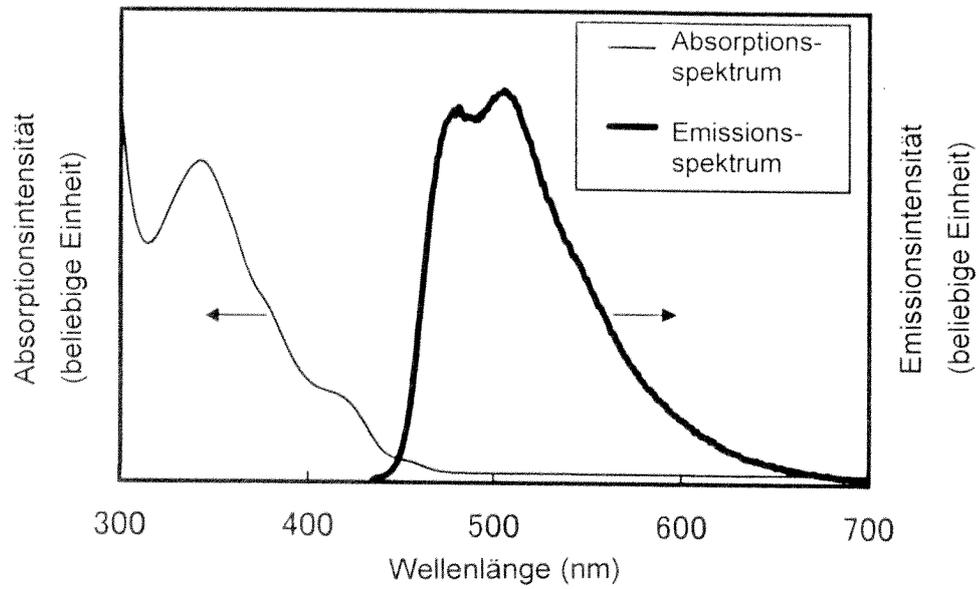


FIG. 13

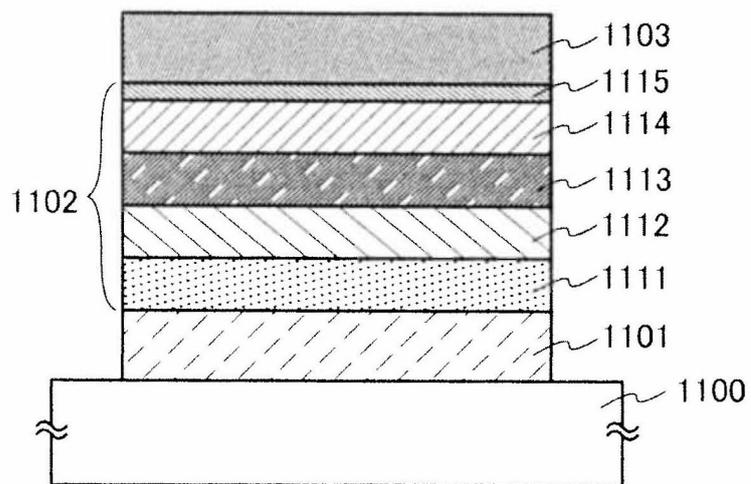


FIG. 14

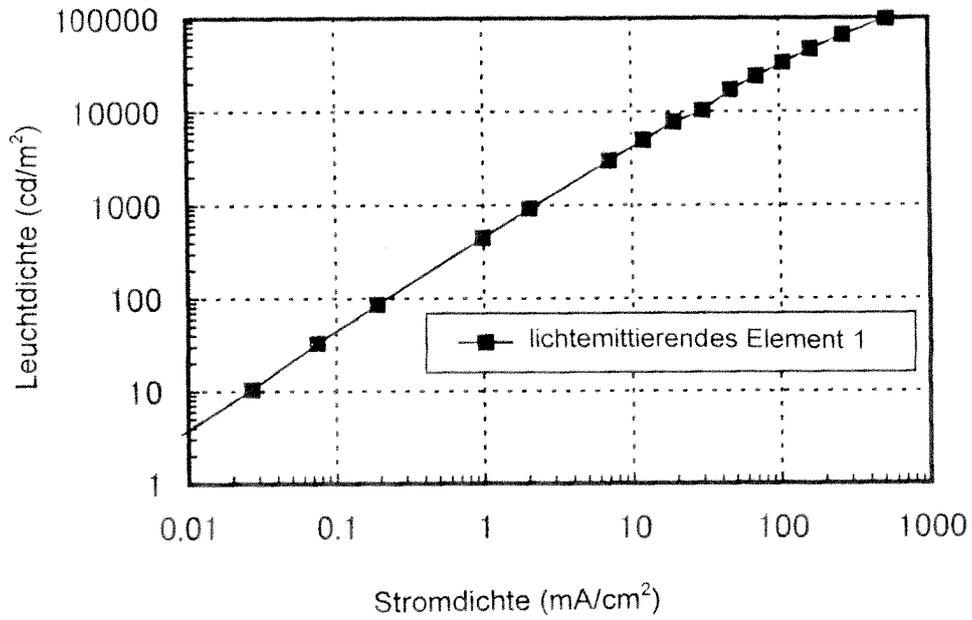


FIG. 15

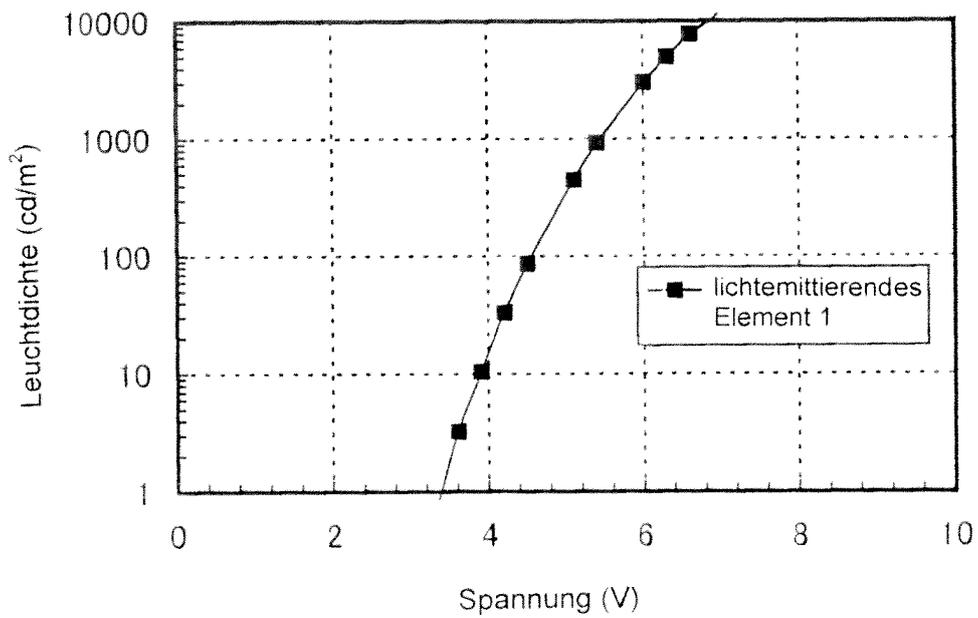


FIG. 16

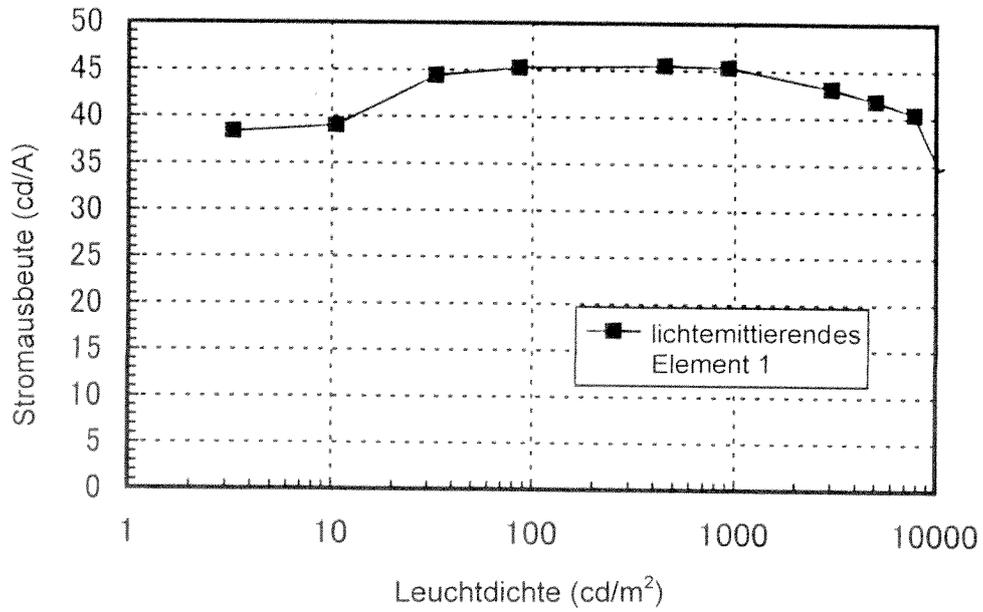


FIG. 17

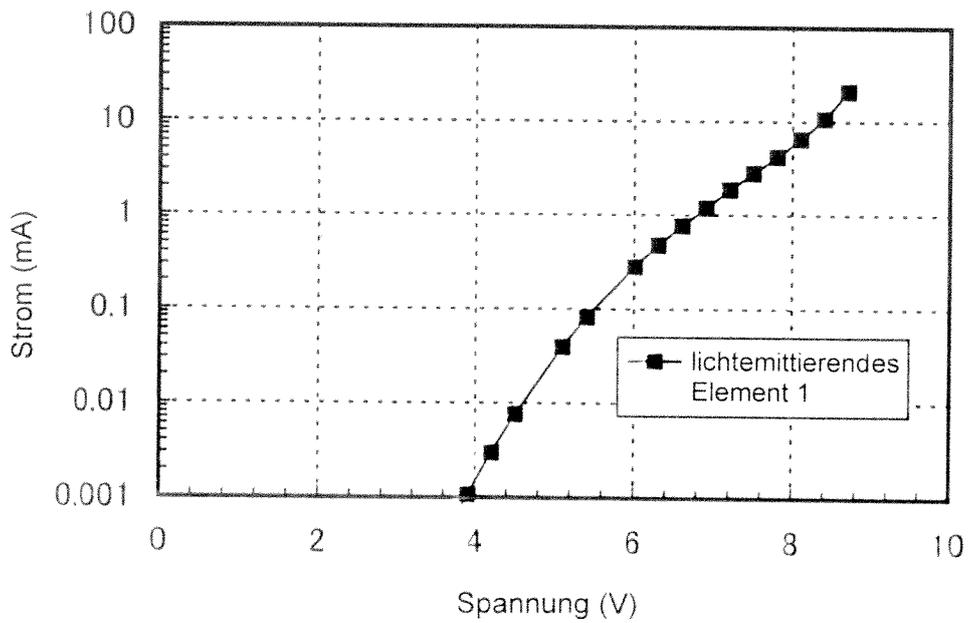


FIG. 18

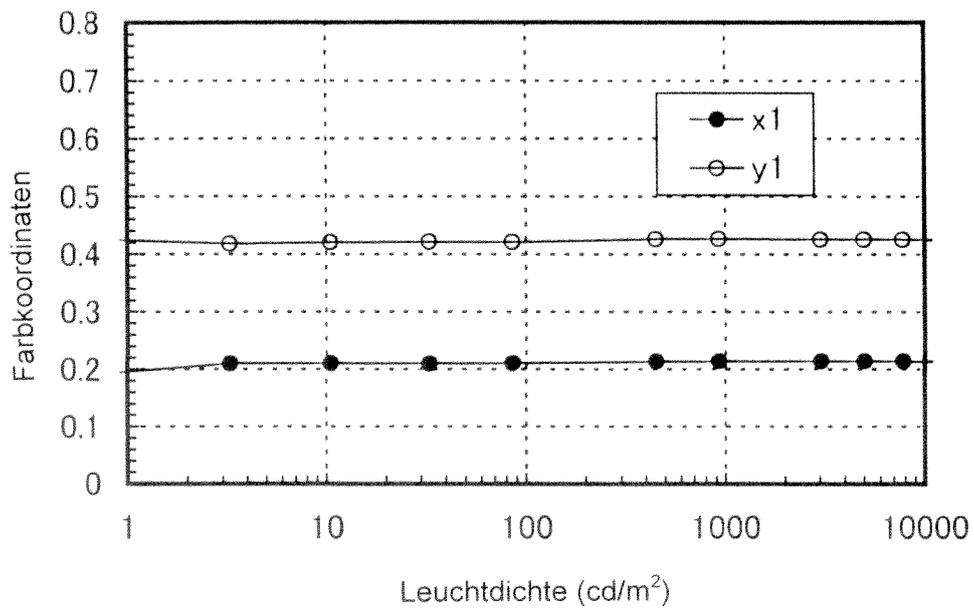


FIG. 19

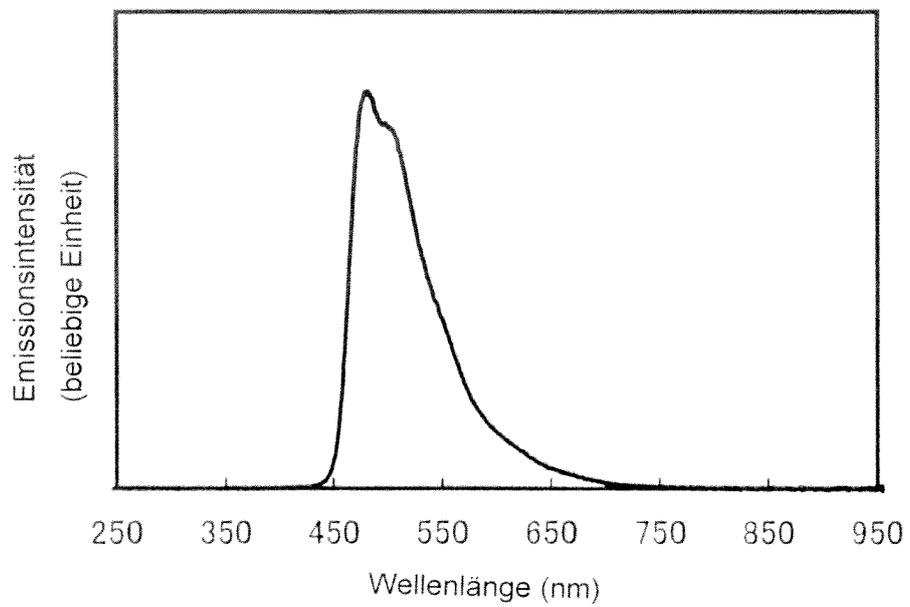


FIG. 20

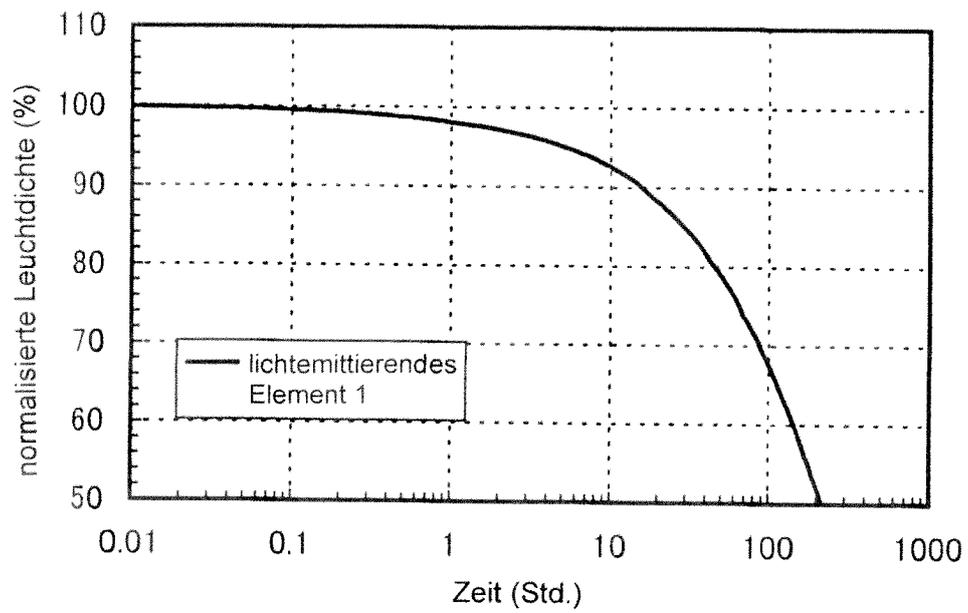


FIG. 21

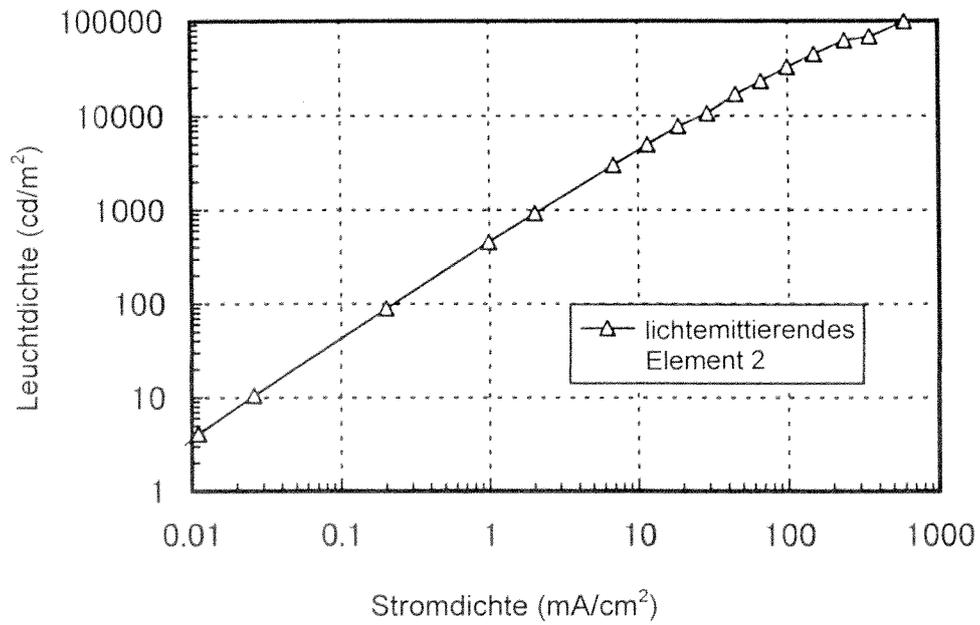


FIG. 22

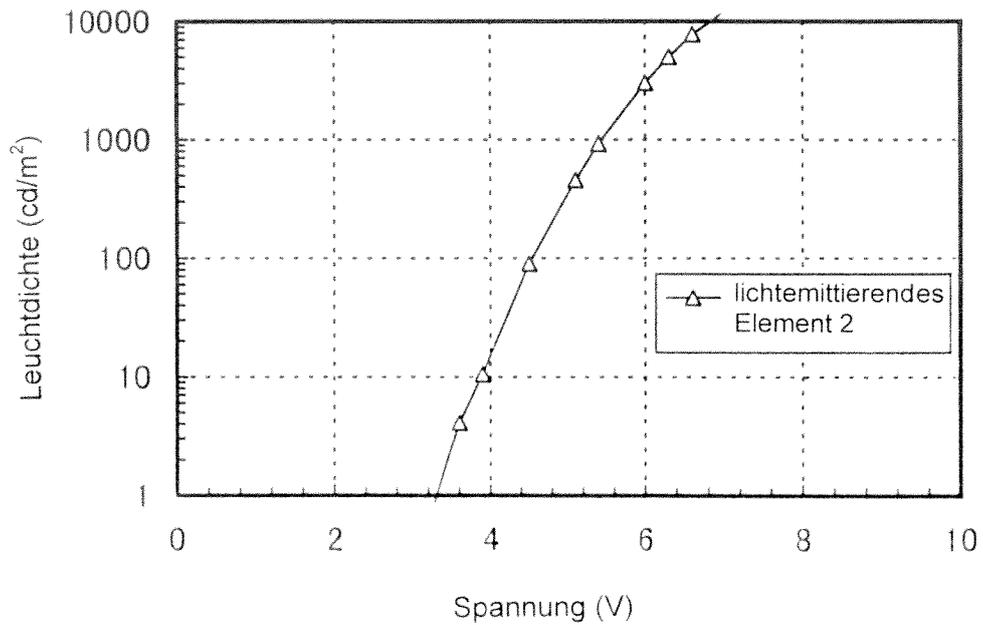


FIG. 23

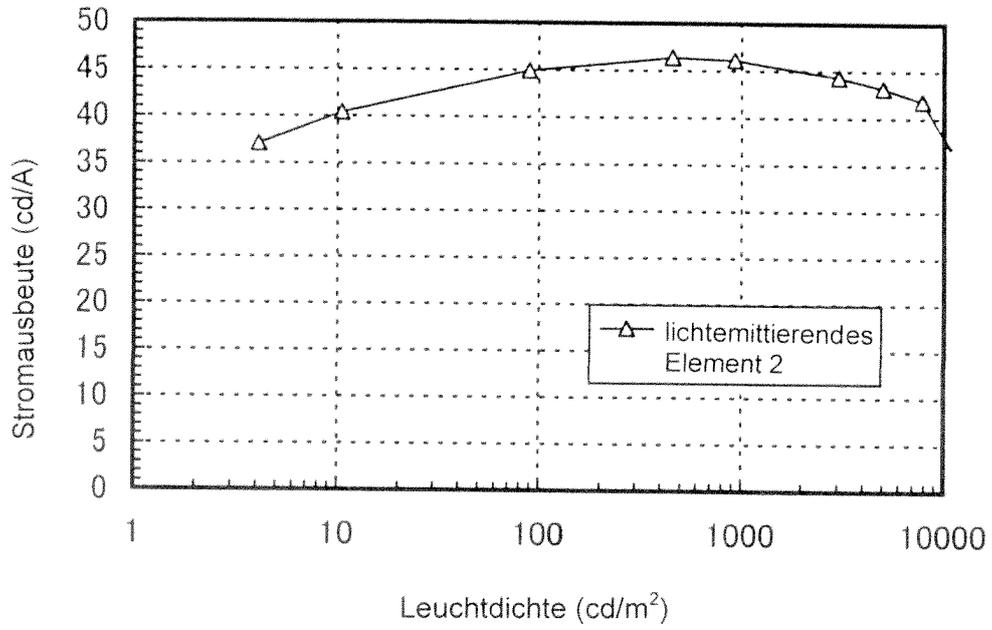


FIG. 24

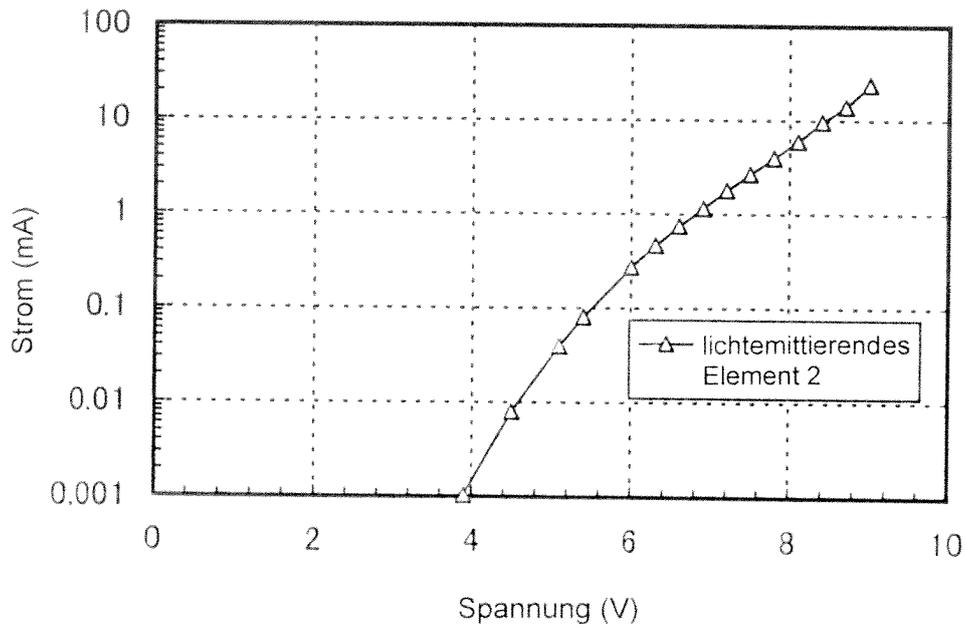


FIG. 25

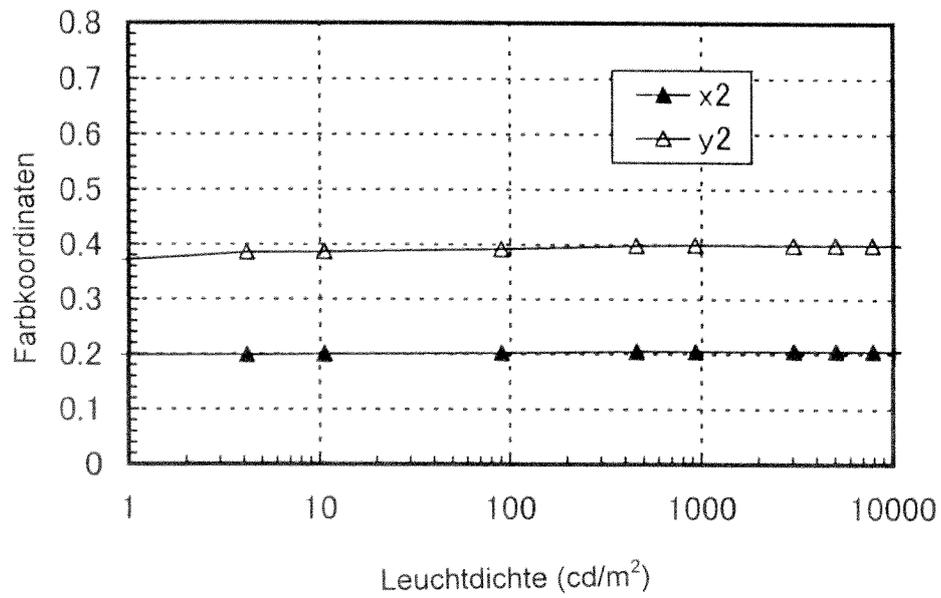


FIG. 26

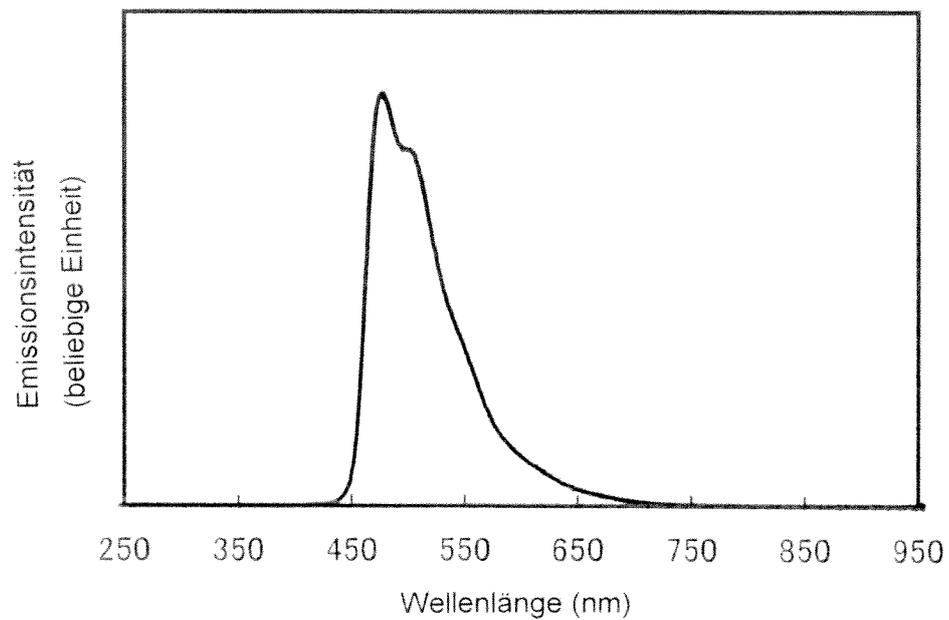


FIG. 27

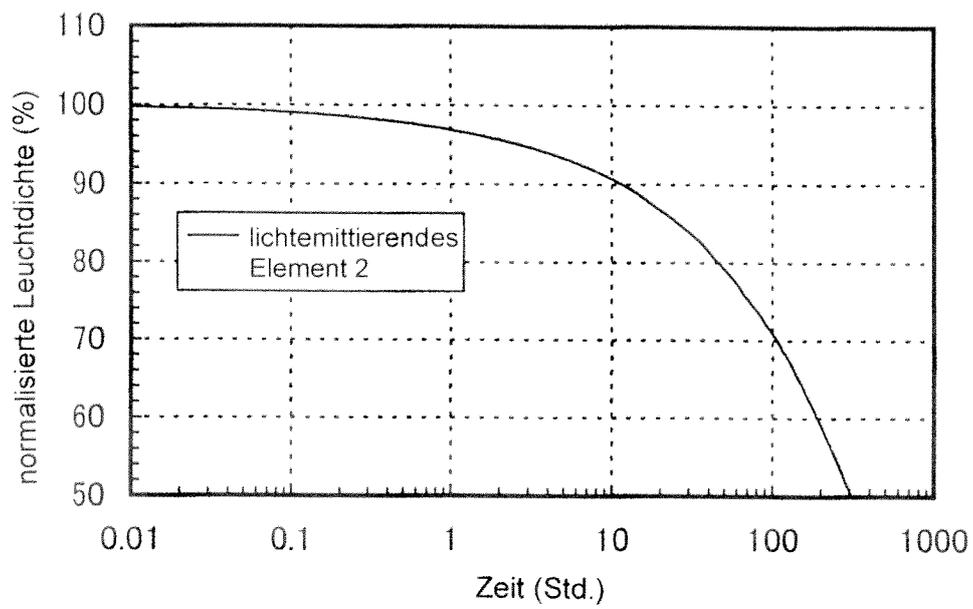


FIG. 28

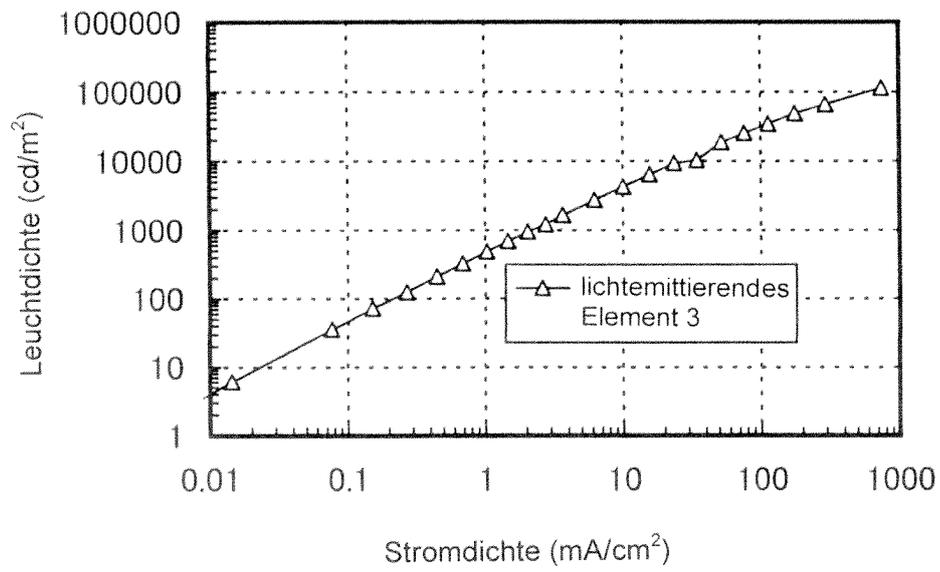


FIG. 29

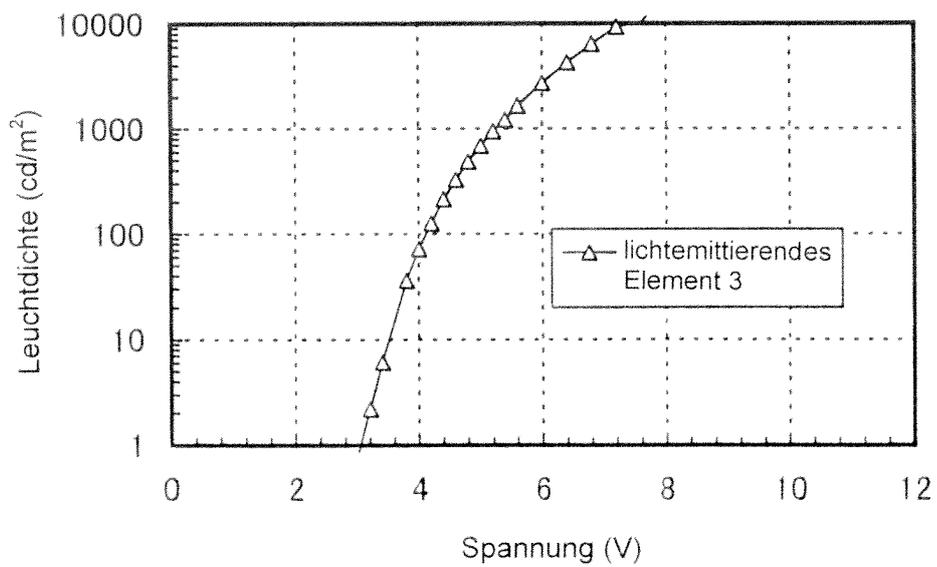


FIG. 30

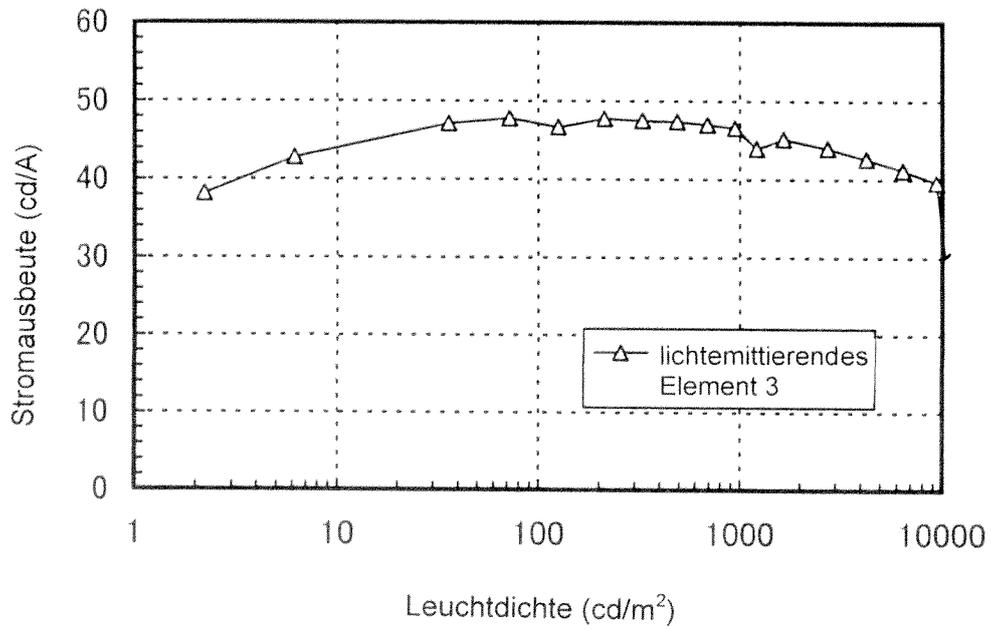


FIG. 31

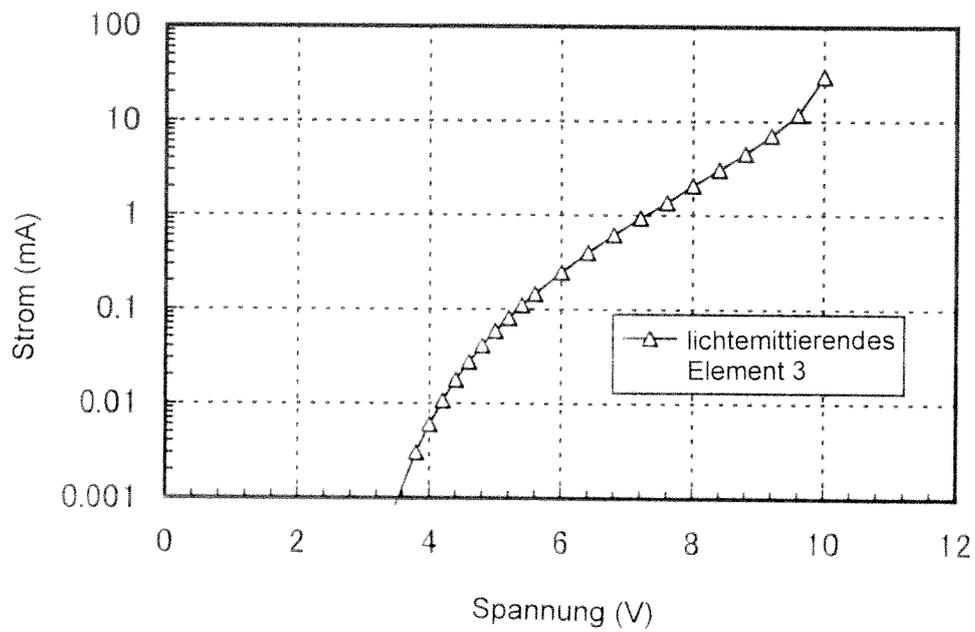


FIG. 32

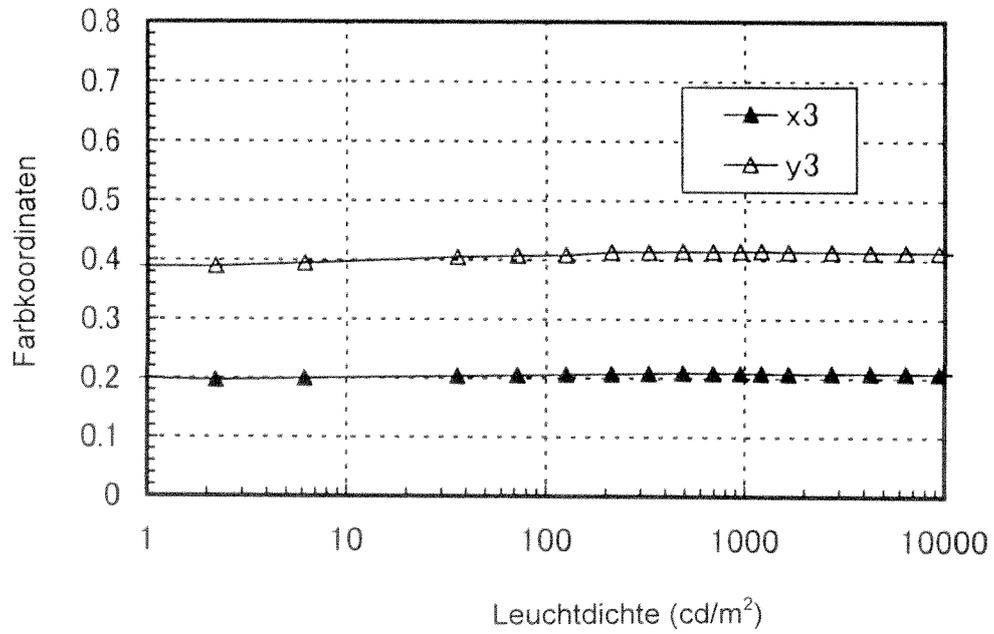


FIG. 33

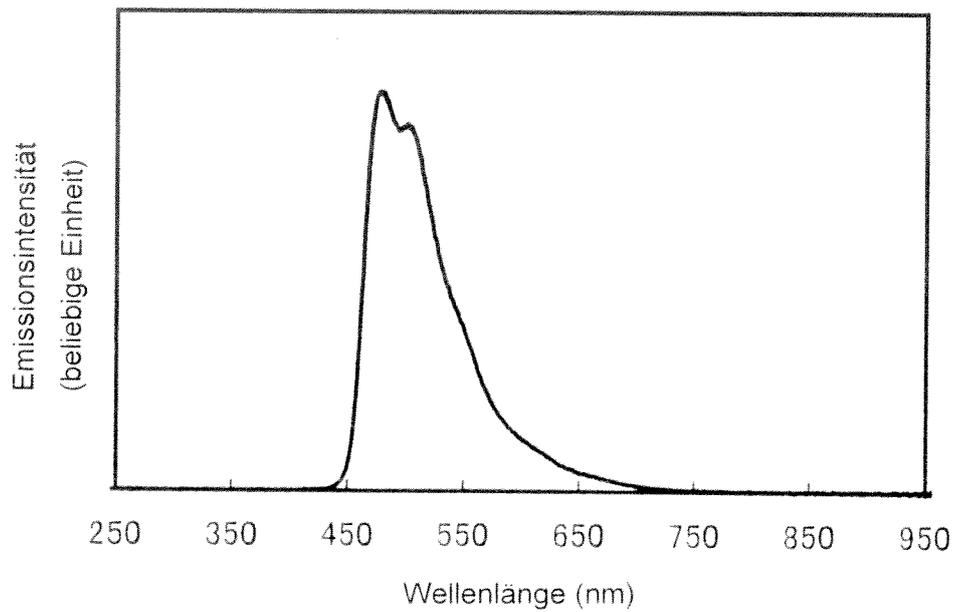


FIG. 34

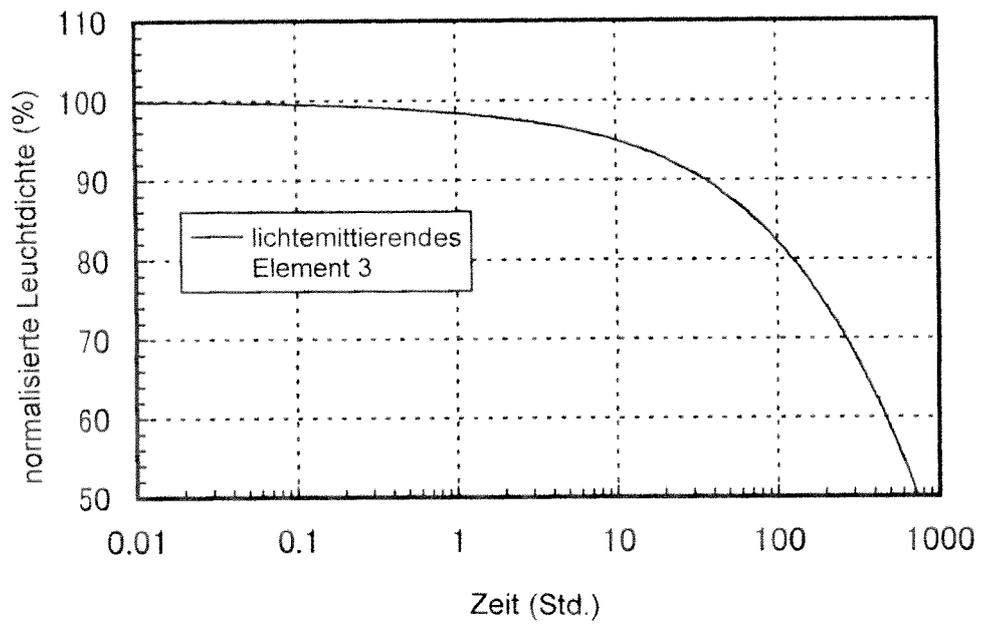


FIG. 35

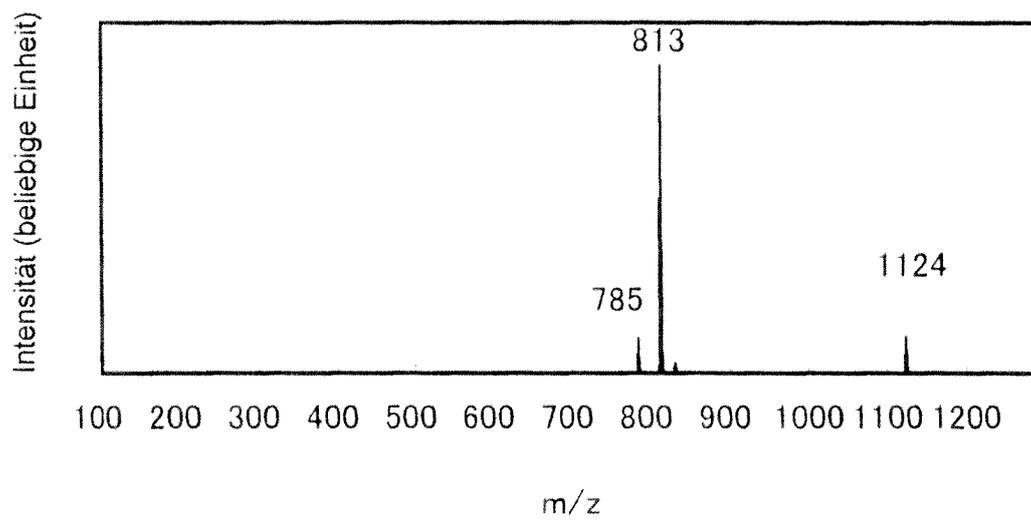


FIG. 36

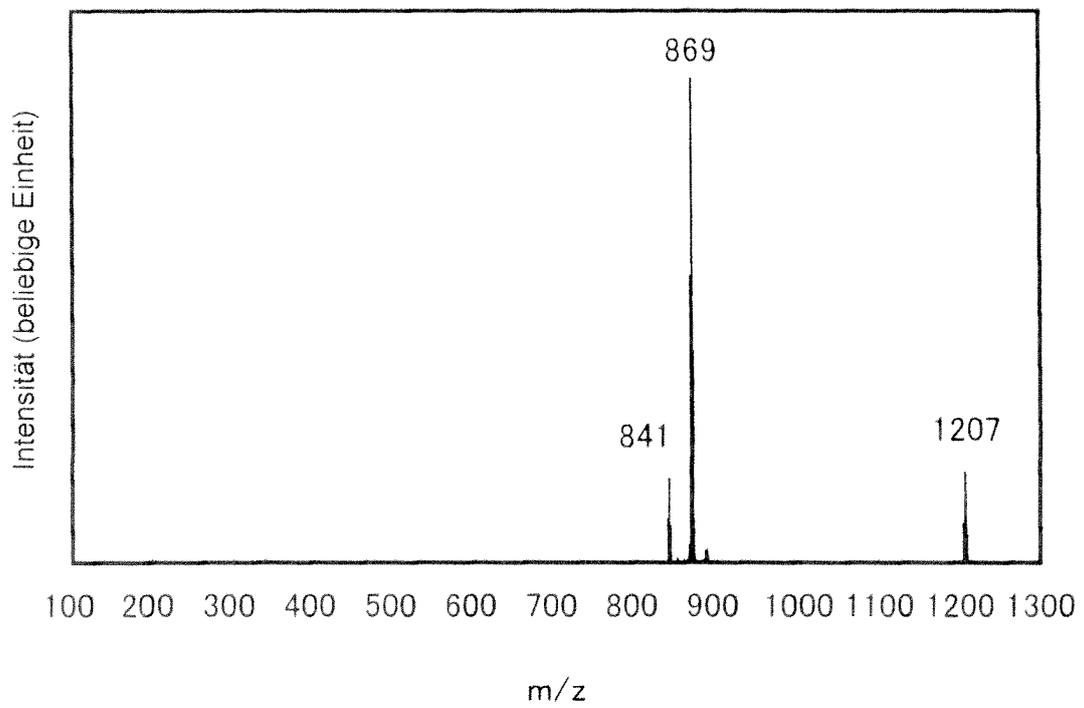


FIG. 37

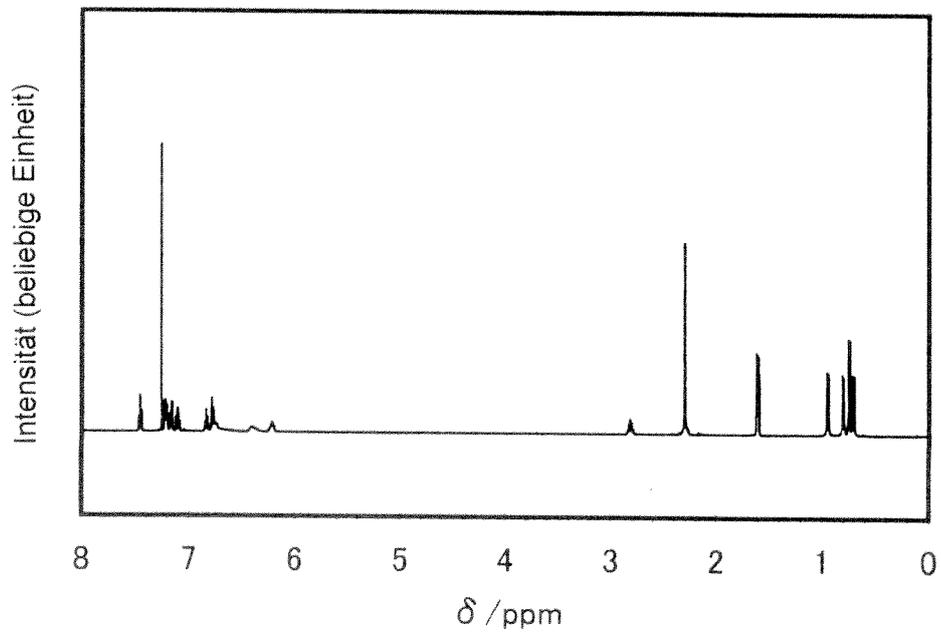


FIG. 38

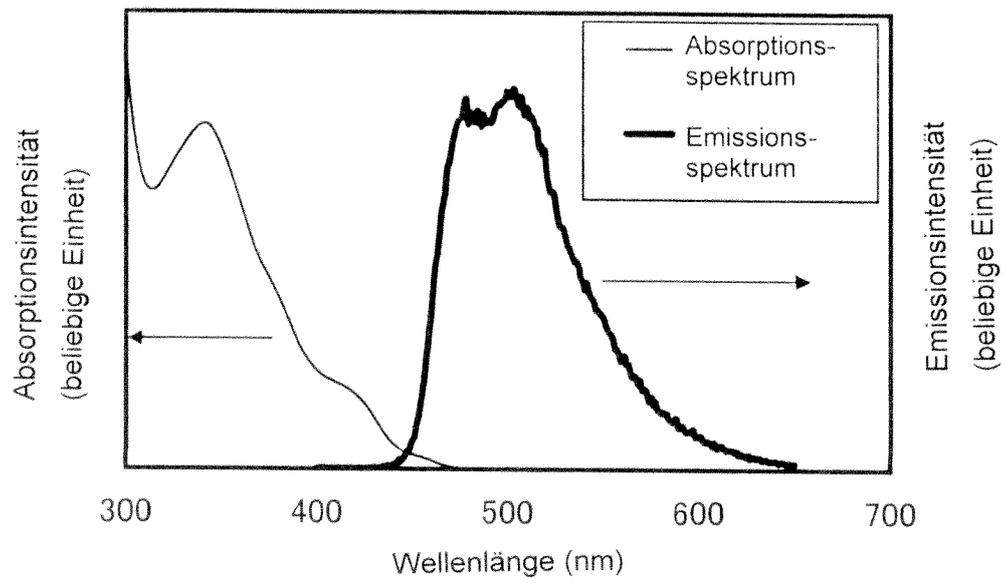


FIG. 39

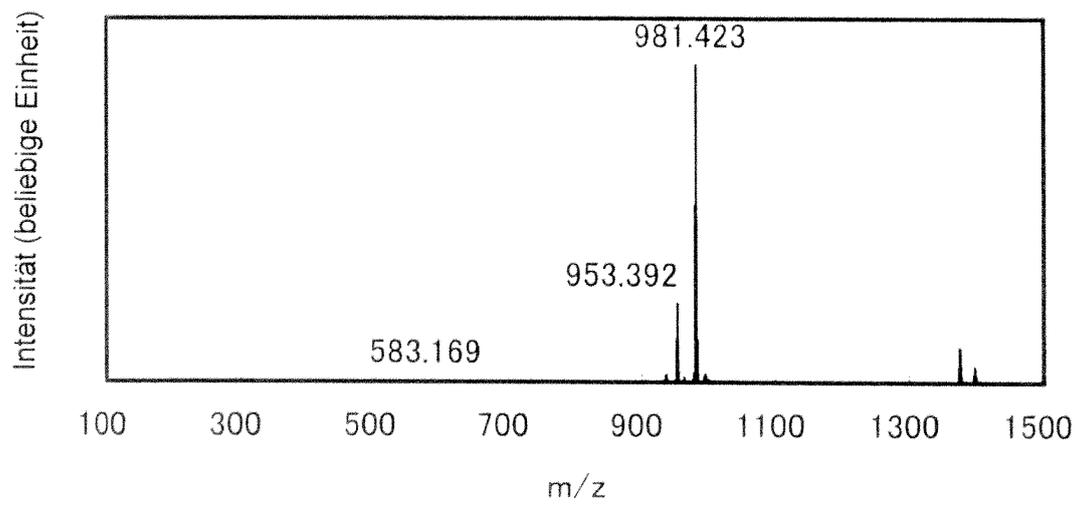


FIG. 40

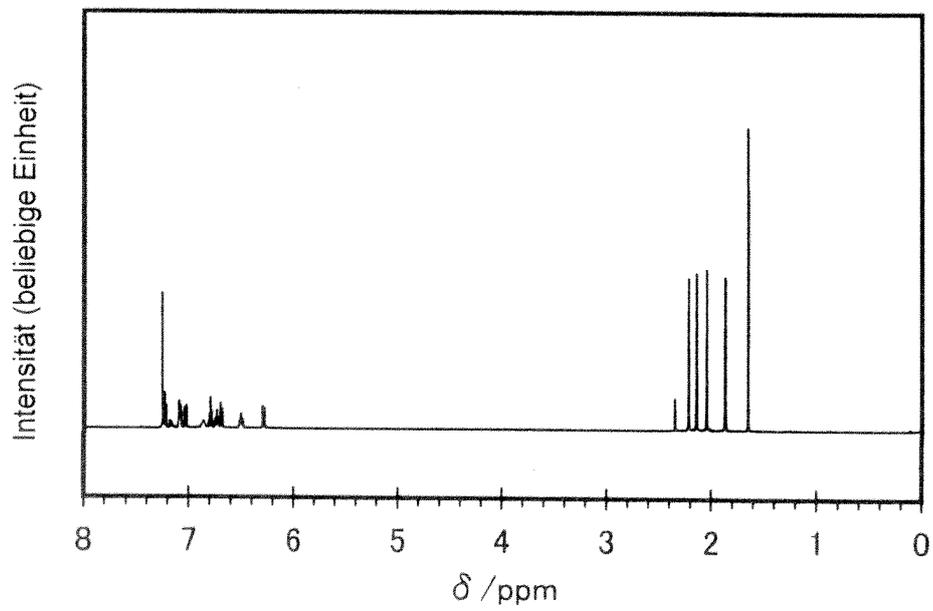


FIG. 41

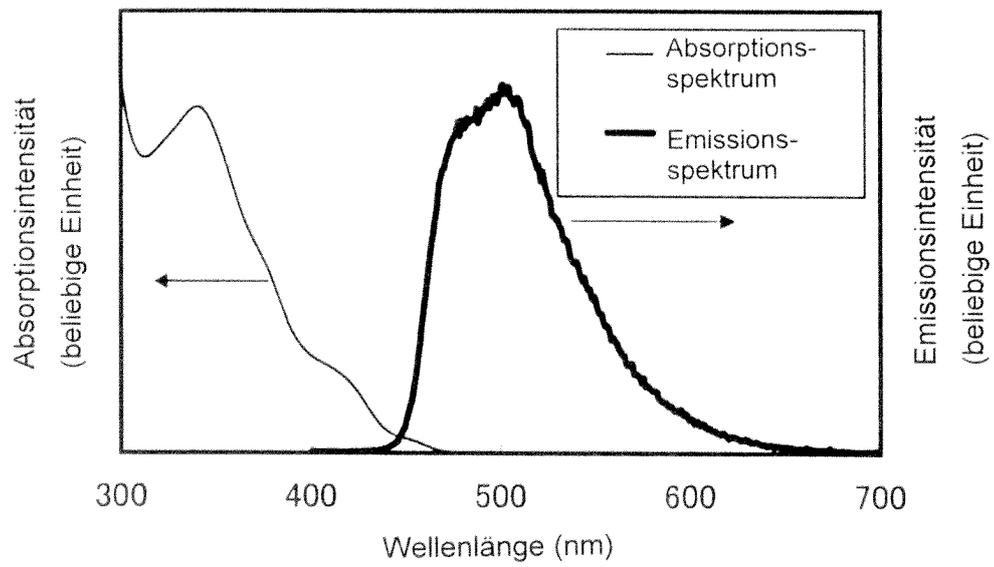


FIG. 42

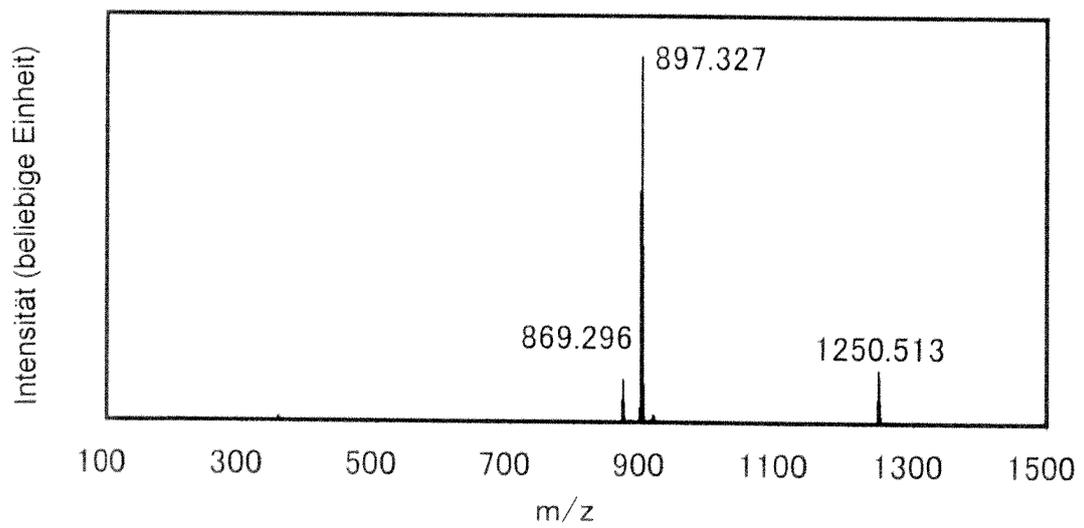


FIG. 43

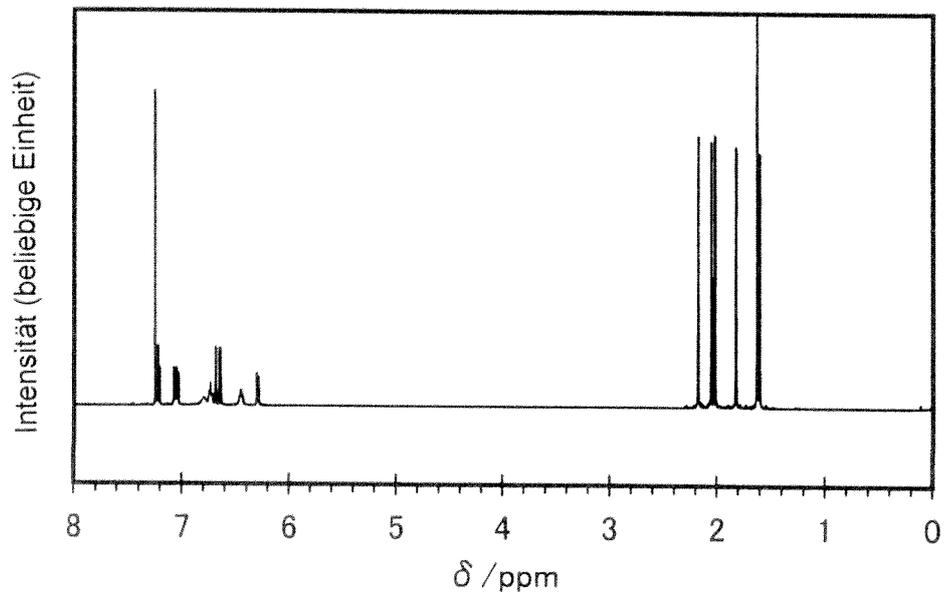


FIG. 44

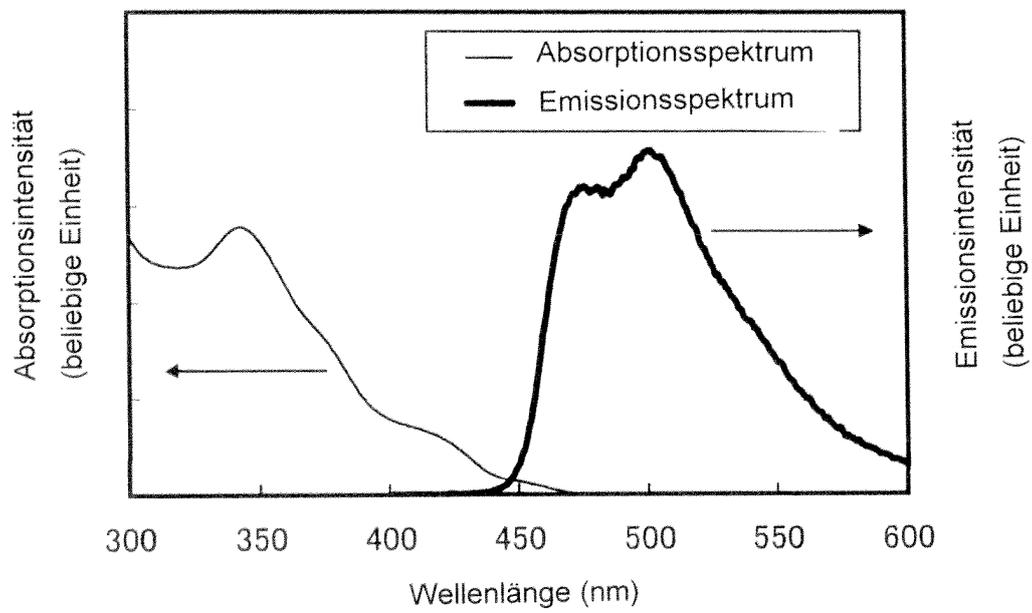


FIG. 45

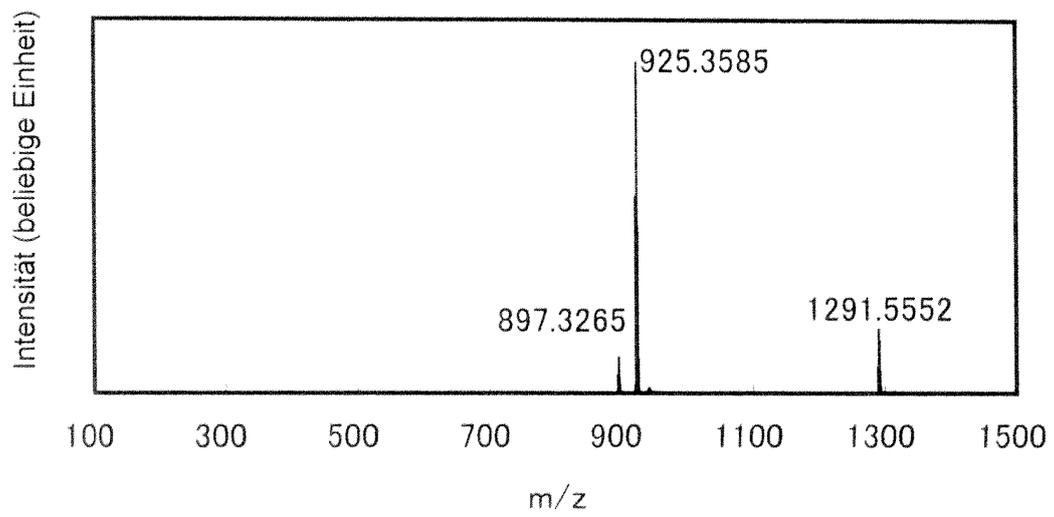


FIG. 46

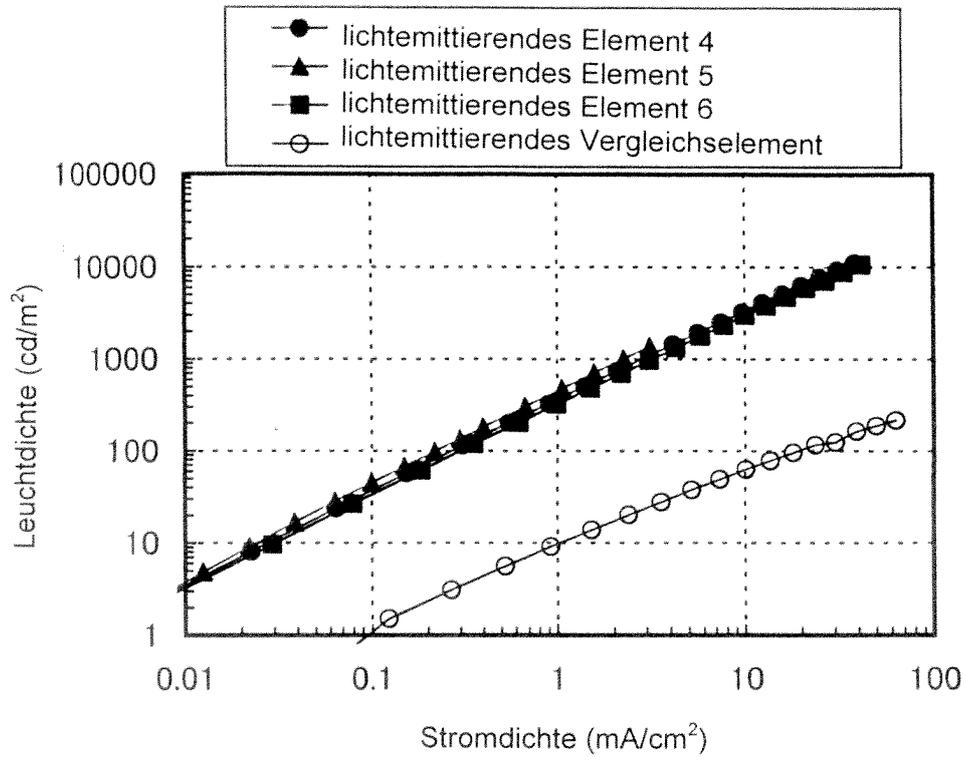


FIG. 47

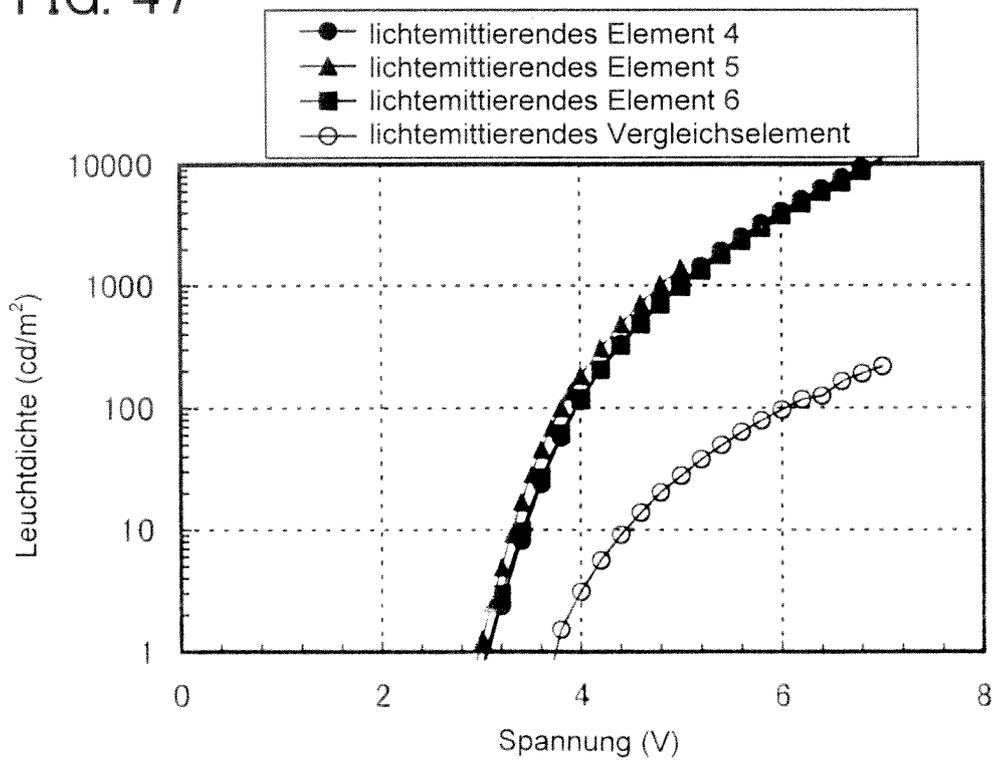


FIG. 48

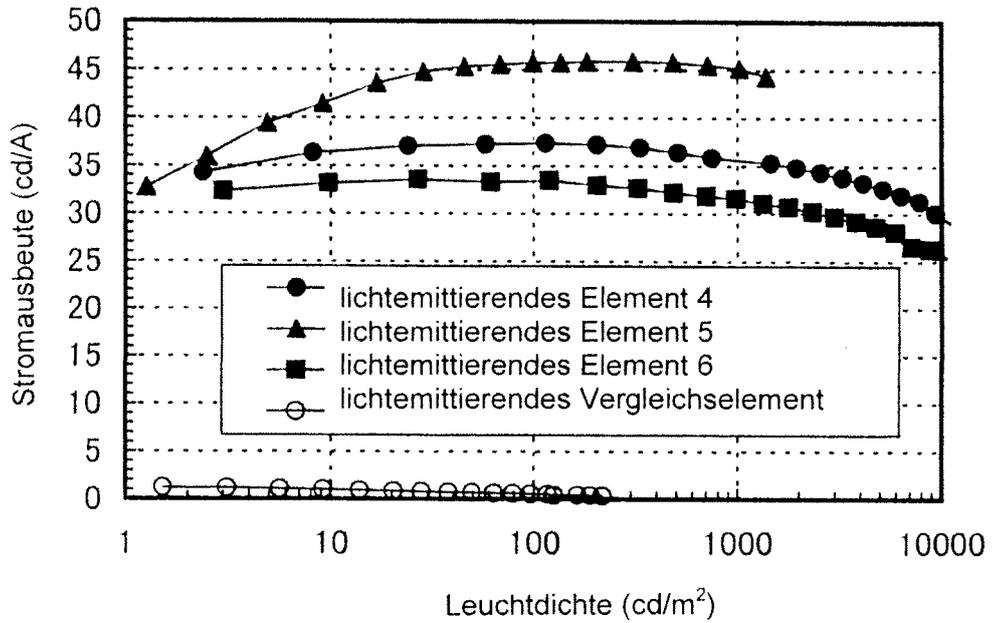


FIG. 49

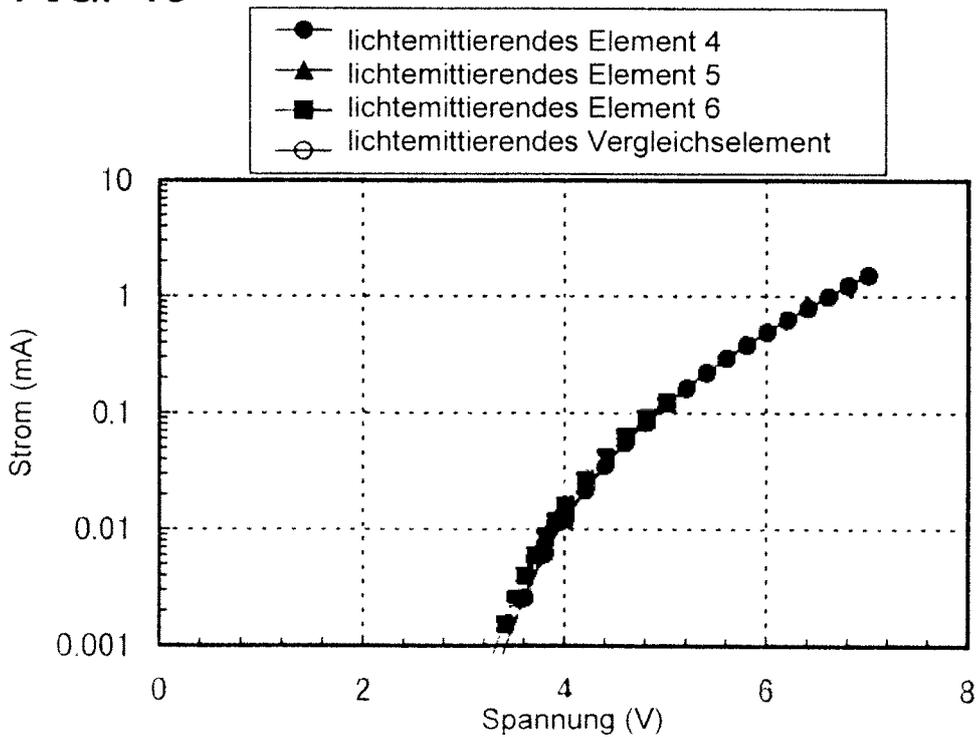


FIG. 50

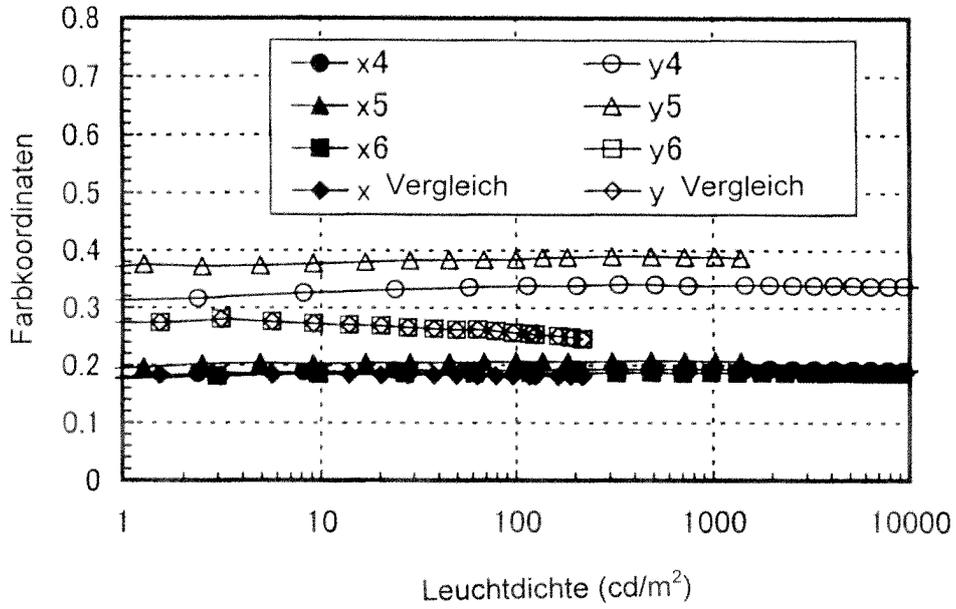


FIG. 51

